

Konzeption eines Reifegradmodells zur ganzheitlichen Unterstützung der Entwicklung digitalisierter Produkte anhand der intendierten Produktreife

Dissertation

zur Erlangung des Doktorgrades

„Dr. rer. pol.“

der Fakultät für Informatik
der Universität Duisburg-Essen

vorgelegt

von

Barbara Ursula Kriemhilde Schiller, M. Sc.

aus

München, Deutschland

Betreuer:

Prof. Dr. Stefan Eicker

Lehrstuhl für Wirtschaftsinformatik und Softwaretechnik

Essen, 04.10.2023

Gutachter:

Prof. Dr. Stefan Eicker
Prof. Dr. Frederik Ahlemann
Prof. Dr. Rainer Elschen

Tag der mündlichen Prüfung:

03.05.2024

DuEPublico

Duisburg-Essen Publications online

UNIVERSITÄT
DUISBURG
ESSEN

Offen im Denken

ub | universitäts
bibliothek

Diese Dissertation wird via DuEPublico, dem Dokumenten- und Publikationsserver der Universität Duisburg-Essen, zur Verfügung gestellt und liegt auch als Print-Version vor.

DOI: 10.17185/duepublico/81975

URN: urn:nbn:de:hbz:465-20240605-075309-3

Alle Rechte vorbehalten.

Kurzfassung

Der Forschungsbereich der digitalisierten Produkte (engl. *smart products*) ist vergleichsweise als jung und innovativ einzuordnen, weshalb die Forschung in dem Bereich bisher sehr heterogen und wenig holistisch ist und sich zudem auf etliche unterschiedliche Domänen verteilt. Als Folge fehlen zum einen oftmals fundierte Lösungen und zum anderen werden zahlreiche Herausforderungen in der Praxis nicht von der Forschung aufgegriffen. Erschwert wird die Situation zusätzlich einerseits durch eine fehlende einheitliche Terminologie und andererseits durch die immer häufiger stattfindende Erweiterung von digitalisierten Produkten zu umfangreichen Ökosystemen.

Das Ziel der vorliegenden Arbeit war daher die Konsolidierung des bisherigen Wissens über die Entwicklung digitalisierter Produkte aus den verschiedenen Anwendungs- und Forschungsdomänen zur Etablierung eines einheitlichen Body of Knowledges für die Forschung. Hierfür wurde ein domänenübergreifendes Reifegradmodell entwickelt und evaluiert, das Unternehmen bei der komplexen und von verschiedenen Herausforderungen tangierten Umsetzung unterschiedlicher Entwicklungsstufen der digitalisierten Produkte (z. B. Einzelprodukt, Produktsystem, System-of-Systems) unterstützt.

Durch das entwickelte, rasterbasierte Stufenmodell erhalten Unternehmen einerseits die Möglichkeit der Ist-Zustandsbewertung der im Unternehmen entwickelten digitalisierten Produkte und andererseits Zielvorgaben in Abhängigkeit zu der (zukünftig) angestrebten Produktentwicklungsstufe. Die Zielvorgaben decken dabei alle von der Entwicklung betroffenen Unternehmensbereiche ab, wie z. B. die Unternehmensstrategie, die Investitions- und Finanzierungsmöglichkeiten, die Unternehmensstruktur, die Unternehmensprozesse, die IT-Architektur oder das Stakeholder Management.

Die Entwicklung und Evaluation des Modells zeigte darüber hinaus sowohl Weiterentwicklungsmöglichkeiten des Modells als auch Ansätze zur Verbesserung der Reifegradmodellentwicklung im Allgemeinen auf. Dadurch konnte ein Beitrag zur Praxis und Forschung geleistet werden.

Abstract

Research on smart products is still a young and innovative area of interest resulting in a heterogeneous and fragmented research field with many varying domains. Thus, well-grounded and comprehensive support for e.g., the development is often not available, while at the same time numerous challenges in practices and research are present. A missing consistent terminology and the advancement of smart products to large ecosystems complicates the situation even further.

Therefore, the goal of this research thesis was the consolidation of existing knowledge of different application and research areas about the development of smart products into a consistent body of knowledge. For this purpose, a research and application domain overarching maturity model was drafted, developed and evaluated. The model should support organizations with the complex and challenging development of different product maturity stages of smart products (e.g., smart product, product system, system-of-systems).

The resulting grid model allows for an (descriptive) as-is state assessment of the organizational smart products and provides the model users with improvement objectives in relation to the targeted product maturity stage. The objectives concern all organizational levels e.g., the strategy development, financial planning, organizational structure, organizational processes, IT architecture or stakeholder management.

Moreover, the model development and evaluation demonstrated potential for further improvement of the developed model as well as the overall maturity model research. In doing so, contribution to practice and research of smart products and maturity model development in general could be achieved.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	VIII
Tabellenverzeichnis	IX
Abkürzungsverzeichnis	XIV
1 Exposition	1
1.1 Problemstellung der Betrachtungsdomäne.....	2
1.2 Stand der Forschung und Forschungspotential der Betrachtungsdomäne.....	4
1.3 Forschungsfragen, Zielsetzung und Ergebnisartefakt der Arbeit	6
1.4 Forschungsmethodische Positionierung der Arbeit	8
1.5 Gang der Untersuchung in dieser Arbeit	16
1.6 Begleitende Forschungspublikationen	20
1.7 Typografische Konventionen.....	20
2 Analyse, Vergleich und Abgrenzung der Domänen digitalisierter Produkte	22
2.1 Methodisches Vorgehen des Kapitels	22
2.2 Identifizierung, Analyse und Vergleich der Forschungsdomänen digitalisierter Produkte.....	26
2.2.1 Context-aware Computing.....	30
2.2.2 Ubiquitous Computing.....	32
2.2.3 Pervasive Computing	36
2.2.4 Mobile und Nomadic Computing	38
2.2.5 Ambient Intelligence und Ambient-assisted Living	40
2.2.6 Internet of Things, Web of Things und Cyber-physical Systems.....	43
2.2.7 Vergleichender und zusammenfassender Überblick über die Forschungsdomänen.....	47
2.3 Identifizierung, Vergleich und Einordnung der Anwendungsdomänen digitalisierter Produkte	51
2.3.1 Zusammenführung und Hierarchisierung der Anwendungsdomänen	55
2.3.2 Infrastructure Application Domains.....	59
2.3.3 Business and Consumer Application Domains.....	61
2.3.4 Public Administration Application Domain	65
2.3.5 Betrachtung der Zusammenhänge zwischen Anwendungs- und Forschungsdomänen	67
2.4 Zusammenfassung und kritische Anmerkungen zu den Ergebnissen des Kapitels	70

3 Terminologie, Architektur und Herausforderungen digitalisierter Produkte	74
3.1 Methodisches Vorgehen des Kapitels	75
3.2 Einordnung digitalisierter Produkte als sozio-technische Informationssysteme.....	76
3.2.1 Informationssystem-Verständnis der deutschsprachigen Wirtschaftsinformatik	76
3.2.2 Informationssystem-Verständnis der Information Systems Research	79
3.2.3 Definition und Merkmale digitalisierter Produkte	80
3.3 Vergleich konzeptioneller Modelle digitalisierter Produkte.....	86
3.3.1 Taxonomien	87
3.3.2 Architekturmodelle und Frameworks.....	90
3.3.3 System-of-Systems-Ansatz	97
3.3.4 Ableitung einer Konzeption digitalisierte Produkte als System-of-Systems.....	100
3.4 Ermittlung der Herausforderungen digitalisierter Produkte	102
3.4.1 Sicherheits-bezogene Herausforderungen	106
3.4.2 Provider-bezogene Herausforderungen	107
3.4.3 Gateway-bezogene Herausforderungen.....	110
3.4.4 Produkt-bezogene Herausforderungen	111
3.4.5 Logik-bezogene Herausforderungen	114
3.4.6 Nutzer-bezogene Herausforderungen.....	116
3.4.7 Forschungs- und Anwendungsdomänen-Bezug der identifizierten Herausforderungen.....	117
3.5 Zusammenfassung und kritische Anmerkungen zu den Ergebnissen des Kapitels	121
4 Erläuterung des methodischen Ansatzes der Reifegradmodellierung	124
4.1 Methodisches Vorgehen des Kapitels	124
4.2 Qualitätsverständnis in Bezug auf digitalisierte Produkte.....	125
4.2.1 Produkt- und Dienstleistungsqualität	126
4.2.2 Software-, System, Daten und IT-Servicequalität nach ISO/IEC 25000 SQuaRE.....	128
4.2.3 Qualität digitalisierter Produkte.....	132
4.3 Vorstellung der konzeptionelle Grundlagen der Reifegradmodellierung	133
4.3.1 Linguistisches Grundverständnis des Reifegradmodell-Begriffs und Konzeption der Wirklichkeitsnachbildung.....	135
4.3.2 Ziel, Strukturkomponenten und Einsatzzweck von Reifegradmodellen	137
4.3.3 Klassifikation von Reifegradmodellen.....	141

4.3.4	Kurzvorstellung bekannter Reifegradmodelle der Softwareentwicklung	144
4.4	Analyse der systematischen Entwicklung von Reifegradmodellen.....	148
4.4.1	Gestaltungsprozess der Reifegradmodellentwicklung	149
4.4.2	Reifegradmodell als Gestaltungsprodukt.....	154
4.5	Zusammenfassende Ableitung der Vorgehensweise für diese Arbeit...	159
5	Grobes Reifegradmodellkonzept für digitalisierte Produkte	162
5.1	Analyse bestehender Reifegradmodelle für digitalisierte Produkte.....	162
5.1.1	Protokoll der systematischen Literatursuche	164
5.1.2	Gesamtüberblick über die Ergebnisse der Suche	168
5.1.3	Reifegradmodelle der Anwendungsdomäne Manufacturing.....	171
5.1.4	Reifegradmodelle der Anwendungsdomäne Smart City.....	175
5.1.5	Reifegradmodelle der Anwendungsdomäne Tourism	176
5.1.6	Reifegradmodelle der Anwendungsdomäne Energy	177
5.1.7	Reifegradmodelle der Forschungsdomäne IoT	177
5.1.8	Zusammenfassung und domänenübergreifender Vergleich der Ergebnisse.....	179
5.2	Ableiten von Parametern und Architekturkomponenten des Modells...	185
5.2.1	Idee, Zweck und Zielgruppe des Modells	186
5.2.2	Reifekonzept und Reifegrade des Modells	188
5.2.3	Gestaltungsdimensionen des Modells	200
5.2.4	Parameter der Reifebewertung.....	205
5.2.5	Planung der Modellausgestaltung im Rahmen des feinen Modellkonzepts	211
5.2.6	Parameter der Evaluation und Evolution des Modells.....	213
5.3	Zusammenfassung der Ergebnisse als Modellarchitektur	218
6	Feines Reifegradmodellkonzept für digitalisierte Produkte	222
6.1	Methodisches Vorgehen des Kapitels	222
6.2	Ausgestaltung und Zwischenevaluation der Gestaltungsbereiche und -ziele des DPMM	225
6.2.1	Dimension Strategic and Financial Planning des DPMM.....	226
6.2.1.1	Gestaltungsbereich Strategy Development	226
6.2.1.2	Gestaltungsbereich Funding and Investment.....	228
6.2.1.3	Gestaltungsbereich Business Models	230
6.2.1.4	Zwischenevaluation des Teilergebnisartefaktes	233
6.2.2	Dimension Organization and Governance des DPMM	237
6.2.2.1	Gestaltungsbereich Organizational Structure and Culture	238
6.2.2.2	Gestaltungsbereich Governance Model	239

6.2.2.3	Gestaltungsbereich Organizational Role.....	242
6.2.2.4	Zwischenevaluation des Teilergebnisartefaktes	242
6.2.3	Dimension Stakeholder Management des DPMM.....	245
6.2.3.1	Gestaltungsbereich Leadership.....	246
6.2.3.2	Gestaltungsbereich Intra- und Cross-Company Collaboration	247
6.2.3.3	Gestaltungsbereich Stakeholder Collaboration.....	248
6.2.3.4	Gestaltungsbereich Skill und Routine Development....	250
6.2.3.5	Zwischenevaluation des Teilergebnisartefaktes	251
6.2.4	Dimension Organizational Processes des DPMM.....	255
6.2.4.1	Gestaltungsbereich Processes in General.....	256
6.2.4.2	Gestaltungsbereich Procurement, Sales, Services and Operations	258
6.2.4.3	Gestaltungsbereich Development and Manufacturing .	259
6.2.4.4	Gestaltungsbereich Asset Management	260
6.2.4.5	Zwischenevaluation des Teilergebnisartefaktes	262
6.2.5	Dimension Technology Support and Communication des DPMM.....	265
6.2.5.1	Gestaltungsbereich IT Architecture	266
6.2.5.2	Gestaltungsbereich Department Systems	268
6.2.5.3	Gestaltungsbereich Communications and Networks ...	269
6.2.5.4	Zwischenevaluation des Teilergebnisartefaktes	271
6.2.6	Dimension Product Design des DPMM	275
6.2.6.1	Gestaltungsbereich Product IT Architecture	275
6.2.6.2	Gestaltungsbereich Service Design	276
6.2.6.3	Gestaltungsbereich Data and AI	278
6.2.6.4	Zwischenevaluation des Teilergebnisartefaktes	280
6.2.7	Dimension Organizational Data and Analytics des DPMM	287
6.2.7.1	Gestaltungsbereich Data Acquisition and Integration .	288
6.2.7.2	Gestaltungsbereich Data Analysis and Application	289
6.2.7.3	Gestaltungsbereich Data Sharing	291
6.2.7.4	Gestaltungsbereich Security and Privacy	293
6.2.7.5	Zwischenevaluation des Teilergebnisartefaktes	293
6.2.8	Zusammenfassung und kritische Anmerkungen zur Ausgestaltung der Dimensionen des DPMM	299
6.3	Vorschläge für die Zuordnung von Umsetzungsgraden für das DPMM.....	306
6.3.1	Beispiel für die Zuordnung der Umsetzungsgrade für den Gestaltungsbereich Skill Development	310

6.3.2	Beispiel für die Zuordnung der Umsetzungsgrade für den Reifegrad Smart Product der Dimension Organizational Data & Analytics	314
6.3.3	Kritische Reflexion der vorgeschlagenen Zuordnung	319
6.4	Zusammenfassung der Ergebnisse des Kapitels	323
7	Evaluation und Demonstration des DPMM	325
7.1	Festlegung der langfristigen Strategie der Modell-Evaluation und zugehöriger Episoden	325
7.1.1	Schritt 1: Ziele der Evaluation festlegen.....	327
7.1.2	Schritt 2: Wahl der Evaluationsstrategie	329
7.1.3	Schritt 3: Festlegung der zu evaluierenden Eigenschaften	331
7.1.4	Schritt 4: Entwurf der Evaluationsepisoden	332
7.2	Zielstellung und Durchführung der Fallstudien-Evaluation	339
7.2.1	Fallstudie 1: Schweizerische Post	340
7.2.2	Fallstudie 2: Deutscher Hersteller für Materialtransporteinrichtungen.....	347
7.2.3	Fallstudie 3: Gold Coast City.....	356
7.3	Zusammenfassung der Ergebnisse	363
8	Zusammenfassung, kritische Würdigung, weiterer Forschungsbedarf und Ausblick	366
8.1	Zusammenfassung der zentralen Ergebnisse der Arbeit	366
8.2	Kritische Reflexion und weiterer Forschungsbedarf der Arbeit	371
8.3	Fazit und Ausblick	374
	Literatur	377
	Anhang A: Ergebnisübersicht der systematischen Literaturanalyse zu Reifegradmodellen digitalisierter Produkte.....	409
	Anhang B: Digitized Products Maturity Model (DPMM) Finale Version.	413

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Information Systems Research Framework.....	11
Abbildung 2:	Design Science Research Knowledge Contribution Framework.	13
Abbildung 3:	Aufbau dieser Arbeit.....	19
Abbildung 4:	Hierarchische Struktur der Anwendungsdomänen.....	58
Abbildung 5:	Schalenmodell des Informationssystems	78
Abbildung 6:	Multi-layer Taxonomy of Smart Things in IoT.....	89
Abbildung 7:	Layered Architecture of Digital Technology und Technology Stack of smart, connected products.....	92
Abbildung 8:	Wertschöpfungsstufen einer Anwendung im IoT	94
Abbildung 9:	IoT-Referenzarchitekturmodell.....	95
Abbildung 10:	Konzeptuelles Framework für smarte Service Systeme	96
Abbildung 11:	Weiterentwicklung vom Produkt zum System-of-Systems	99
Abbildung 12:	Konzeption digitalisierter Produkte im Kontext eines System-of-Systems-Ökosystems als Basis dieser Arbeit	101
Abbildung 13:	Untergliederung der Angebotsleistung einer Organisation.....	128
Abbildung 14:	Übersicht Einflussfaktoren auf die Qualität von Self-Tracking-Lösungen als Cluster-Map	133
Abbildung 15:	Schematischer Ablauf des Einsatzes von Reifegradmodellen .	140
Abbildung 16:	Schematische Darstellung einer generischen Reifegradmodellstruktur.....	141
Abbildung 17:	Abgeleitete Vorgehensweise der Reifegradmodellentwicklung dieser Arbeit.....	160
Abbildung 18:	Prozess der systematischen Literatursuche.....	164
Abbildung 19:	Publikationen der Reifegradmodellierung für digitalisierte Produkte nach Jahren	169
Abbildung 20:	Beispiel für Soll-Werte der Umsetzungsgrade	210
Abbildung 21:	Beispiel Soll-Ist-Vergleich der Umsetzungsgrade.....	210
Abbildung 22:	Beispielhafter Auszug der Modellarchitektur des DPMM	220
Abbildung 23:	Überblick über das methodische Vorgehen zur Ausgestaltung des feinen Reifegradmodellkonzepts	225

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Design Science Research Artefakttypen mit Beschreibung	10
Tabelle 2:	Methodenspektrum der Wirtschaftsinformatik	14
Tabelle 3:	Komponenten einer Design-Science-Publikation	18
Tabelle 4:	Einordnung der Literaturanalyse für die Domänen digitalisierter Produkte	26
Tabelle 5:	Übersicht über identifizierte Forschungsdomänen digitalisierter Produkte	28
Tabelle 6:	Geräte-Typen des Ubiquitous Computings	34
Tabelle 7:	Kerntreiber des Mobile Computings	39
Tabelle 8:	Zentrale Merkmale ambienter Systeme	41
Tabelle 9:	Vergleichender und zusammenfassender Überblick der populärsten Forschungsdomänen digitalisierter Produkte.....	50
Tabelle 10:	Übersicht über die Quellen der Anwendungsdomänen-Analyse	53
Tabelle 11:	Übersicht über die Infrastruktur-Anwendungsdomänen	60
Tabelle 12:	Übersicht über die Business- und Consumer-Anwendungsdomänen.....	63
Tabelle 13:	Übersicht über die Public-Administration-Anwendungsdomänen	66
Tabelle 14:	Überblick Anwendungsdomänen in Forschungsdomänenliteratur	69
Tabelle 15:	Einordnung der Literaturanalyse für die Konzeption und Herausforderungen digitalisierter Produkte	75
Tabelle 16:	Ausgewählte Informationssystem-Definitionen bekannter WI-Lehrbücher.....	77
Tabelle 17:	Übersicht Merkmale digitalisierter Produkte verschiedener Publikationen.....	85
Tabelle 18:	Quellenübersicht für Herausforderungen digitalisierter Produkte	104
Tabelle 19:	Herausforderungen Security und Privacy (alle Komponenten)	106
Tabelle 20:	Herausforderungen der Provider-Komponente.....	108
Tabelle 21:	Herausforderungen der Komponente Gateway	111
Tabelle 22:	Herausforderungen der Produkt-Komponente	112
Tabelle 23:	Herausforderungen der Logik-Komponente.....	115
Tabelle 24:	Herausforderungen der Nutzer-Komponente	116
Tabelle 25:	Domänen-Ursprung der identifizierten Herausforderungen....	120
Tabelle 26:	Einordnung der Literaturanalyse zur Abgrenzung der verschiedenen Verständnisse und Begrifflichkeiten in Bezug auf Qualität und Reifegradmodellierung	125
Tabelle 27:	Klassifikation von Reifegradmodellen nach Christiansen und Gausemeier.....	143
Tabelle 28:	CMM V1.1 Reifegrade Beschreibung.....	145

Tabelle 29:	CMMI V1.3 Fähigkeitsgrade Beschreibung	146
Tabelle 30:	Vergleich der Vorgehensmodellphasen für die Reifegradmodellierung.....	150
Tabelle 31:	Methodenüberblick für die Reifegradmodellentwicklung.....	153
Tabelle 32:	Gestaltungsprinzipien der Reifegradmodellierung	155
Tabelle 33:	Gestaltungsentscheidungen im Verlauf der Reifegradmodell-Entwicklung.....	158
Tabelle 34:	Phasen und Aktivitäten eines Systematic Literature Reviews	163
Tabelle 35:	Betrachtete Publikationen zur Reifegradmodellierung für verschiedene Anwendungsdomänen digitalisierter Produkte..	171
Tabelle 36:	Smart Object Capability Levels	178
Tabelle 37:	Exemplarischer Dimensionen und Reifeebenen-Vergleich von Reifegradmodellen der Anwendungsdomänen digitalisierter Produkte.....	181
Tabelle 38:	Zusammengeführte Dimensionen der ausgewählten Anwendungsdomänen-Reifegradmodelle und Beispiele für deren inhaltliche Ausgestaltung	182
Tabelle 39:	Dimensionen der Anwendungsdomänen-Reifegradmodelle digitalisierter Produkte.....	184
Tabelle 40:	Reifegrade des Scottish Government Smart-City-Reifegradmodells	189
Tabelle 41:	Vergleich und Zusammenführung der Reifegrade verschiedener Ansätze digitalisierter Produkte.....	191
Tabelle 42:	Übersicht über die zentralen Reifegrad-Merkmale des DPMM	199
Tabelle 43:	Vergleich von Kategorisierungen digitalisierter Produkte	201
Tabelle 44:	Umsetzungsgrade des DPMM	209
Tabelle 45:	Parameter der Reifegradmodellevaluation	216
Tabelle 46:	Gestaltungsziele des Gestaltungsbereichs Strategy Development des DPMM.....	227
Tabelle 47:	Gestaltungsziele des Gestaltungsbereichs Funding and Investment des DPMM	230
Tabelle 48:	Gestaltungsziele des Gestaltungsbereichs Business Models des DPMM.....	232
Tabelle 49:	Gestaltungsziele des Gestaltungsbereichs Organizational Structure and Culture des DPMM.....	238
Tabelle 50:	Gestaltungsziele des Gestaltungsbereichs Governance Model des DPMM.....	241
Tabelle 51:	Gestaltungsziele des Gestaltungsbereichs Organizational Role des DPMM	242
Tabelle 52:	Gestaltungsziele des Gestaltungsbereichs Leadership des DPMM	246
Tabelle 53:	Gestaltungsziele des Gestaltungsbereichs Intra- and Cross-Company Collaboration des DPMM	247
Tabelle 54:	Gestaltungsziele des Gestaltungsbereichs Stakeholder Collaboration des DPMM.....	249

Tabelle 55:	Gestaltungsziele des Gestaltungsbereichs Skill Development des DPMM	250
Tabelle 56:	Gestaltungsziele des Gestaltungsbereichs Processes in General des DPMM	257
Tabelle 57:	Gestaltungsziele des Gestaltungsbereichs Procurement, Sales, Services and Operation des DPMM.....	258
Tabelle 58:	Gestaltungsziele des Gestaltungsbereichs Development and Manufacturing des DPMM	259
Tabelle 59:	Gestaltungsziele des Gestaltungsbereichs Asset Management des DPMM	261
Tabelle 60:	Gestaltungsziele des Gestaltungsbereichs IT Architecture des DPMM	267
Tabelle 61:	Gestaltungsziele des Gestaltungsbereichs Department Systems des DPMM	268
Tabelle 62:	Gestaltungsziele des Gestaltungsbereichs Communications and Networks des DPMM	270
Tabelle 63:	Gestaltungsziele des Gestaltungsbereichs Product IT Architecture des DPMM	276
Tabelle 64:	Gestaltungsziele des Gestaltungsbereichs Service Design des DPMM	278
Tabelle 65:	Gestaltungsziele des Gestaltungsbereichs Data and AI des DPMM	279
Tabelle 66:	Gestaltungsziele des Gestaltungsbereichs Data Acquisition and Integration des DPMM.....	288
Tabelle 67:	Gestaltungsziele des Gestaltungsbereichs Data Analysis and Application des DPMM.....	290
Tabelle 68:	Gestaltungsziele des Gestaltungsbereichs Data Sharing des DPMM	292
Tabelle 69:	Gestaltungsziele des Gestaltungsbereichs Security and Privacy des DPMM	293
Tabelle 70:	Vorschlag für Umsetzungsgrade für die Gestaltungsbereiche je Reifegrad	309
Tabelle 71:	Beispiel für die Ausgestaltung der Umsetzungsgrade für den Gestaltungsbereich Skill Development des DPMM (Übersicht)	310
Tabelle 72:	Vorschlag für die Zuordnung der Umsetzungsgrade für den Gestaltungsbereich Data Acquisition and Integration des DPMM	315
Tabelle 73:	Vorschlag für die Zuordnung der Umsetzungsgrade für den Gestaltungsbereich Data Analysis and Application des DPMM	316
Tabelle 74:	Vorschlag für die Zuordnung der Umsetzungsgrade für den Gestaltungsbereich Data Sharing des DPMM	317
Tabelle 75:	Vorschlag für die Zuordnung der Umsetzungsgrade für den Gestaltungsbereich Security and Privacy des DPMM	319
Tabelle 76:	Typen der Reifegradmodellevaluation in Abhängigkeit der durchzuführenden Personengruppe.....	326

Tabelle 77:	Evaluationsziele und zugehörige Evaluationsmethoden des FEDS-Framework	328
Tabelle 78:	Zentrale Charakteristika und Auswahlzenarien der Design-Science-Research-Evaluationsstrategien	330
Tabelle 79:	Evaluationskriterien-Beispiele für Methoden- und Modell-Artefakte	332
Tabelle 80:	Typische Evaluationsepisoden der Design Science Research .	333
Tabelle 81:	Evaluationsperspektiven	335
Tabelle 82:	Übersicht Evaluationsepisoden dieser Arbeit	338
Tabelle 83:	Leitfragen der Fallstudien-Evaluation	339
Tabelle 84:	Übersicht über die genutzten Fallstudien für die Evaluation des Reifegradmodells dieser Arbeit.....	340
Tabelle 85:	Identifizierte Gestaltungsbereiche und -ziele der Fallstudie 1	343
Tabelle 86:	Identifizierte Gestaltungsbereiche und -ziele der Fallstudie 2	350
Tabelle 87:	Identifizierte Gestaltungsbereiche und -ziele der Fallstudie 3	358
Tabelle 88:	Überblick über die Anwendungsdomänen und Domänenbereiche digitalisierter Produkte.....	367
Tabelle 89:	Überblick über die Reifegrade und Gestaltungsdimensionen des DPMM.....	369
Tabelle 90:	Nicht berücksichtigte Ergebnisse der systematischen Literaturanalyse zu Reifegradmodellen digitalisierter Produkte	409
Tabelle 91:	Ergebnisübersicht der Literaturanalyse zu Reifegradmodellen digitalisierter Produkte.....	411
Tabelle 92:	Strategy Development (DPMM finale Version)	413
Tabelle 93:	Funding and Investment (DPMM finale Version)	415
Tabelle 94:	Business Models (DPMM finale Version).....	416
Tabelle 95:	Organizational Structure and Culture (DPMM finale Version) .	417
Tabelle 96:	Governance Model (DPMM finale Version).....	418
Tabelle 97:	Organizational Role (DPMM finale Version)	418
Tabelle 98:	Leadership (DPMM finale Version)	419
Tabelle 99:	Intra- and Cross-company Collaboration (DPMM finale Version)	420
Tabelle 100:	Stakeholder Collaboration (DPMM finale Version)	422
Tabelle 101:	Skill Development (DPMM finale Version)	422
Tabelle 102:	Processes in General (DPMM finale Version)	423
Tabelle 103:	Procurement, Sales, Services and Operation (DPMM finale Version).....	424
Tabelle 104:	Development and Manufacturing (DPMM finale Version).....	425
Tabelle 105:	Asset Management (DPMM finale Version).....	426
Tabelle 106:	IT Architecture (DPMM finale Version).....	428
Tabelle 107:	Department Systems (DPMM finale Version).....	428

Tabelle 108:	Communications and Networks (DPMM finale Version)	430
Tabelle 109:	Product IT Architecture (DPMM finale Version)	431
Tabelle 110:	Service Design (DPMM finale Version)	433
Tabelle 111:	Data and AI (DPMM finale Version)	434
Tabelle 112:	Data Acquisition and Integration (DPMM finale Version)	435
Tabelle 113:	Data Analysis and Application (DPMM finale Version)	437
Tabelle 114:	Data Sharing (DPMM finale Version)	438
Tabelle 115:	Security and Privacy (DPMM finale Version)	439

Abkürzungsverzeichnis

AI.....	Artificial Intelligence
API.....	Application Programming Interface
BSI.....	Bundesamt für Sicherheit
CaS	Context-aware Systems
CMM	Capability Maturity Model
CMMI	Capability Maturity Model Integration
CPS	Cyber-physical System
DPMM	Digitized Product Maturity Model
GDL	Goods-dominant Logic
GPS	Global Positioning System
HCI.....	Human Computer Interaction
HTTPS.....	Hypertext Transfer Protocol Secure
ICT.....	Information and Communication Technology
IEC.....	International Electrotechnical Commission
IoT	Internet of Things
IP	Internet Protocol
IS.....	Informationssystem
ISO.....	International Organization for Standardization
ISTAG	European Union's Information Society Technologies Advisory Group
IT	Informationstechnologie
ITIL	Information Technology Infrastructure Library
IuK.....	Informations- und Kommunikationstechnik
KPI	Key Performance Indicator
LKW.....	Lastkraftwagen
M2M	Machine-to-Machine
MAT	Mensch-Aufgabe-Technik
NFC	Near Field Communication
p2p.....	product-to-product
p3u.....	product-to-user
PerCom	Pervasive Computing
RFID	Radio-frequency Identification
SCP	Smart, Connected Product
SDL	Service-dominant Logic
SEI.....	Software Engineering Institute
SGMM	Smart Grid Maturity Model
SPICE	Software Process Improvement and Capability Determination
SPSS	Smart Product-Service System

UbiComUbiquitous Computing

WKWIWissenschaftliche Kommission Wirtschaftsinformatik

1 Exposition

Die „*Digitalisierung physischer Gegenstände durch die Ergänzung von IT auf mehreren Wertschöpfungsstufen*“ findet zunehmend Beachtung in verschiedensten Anwendungsdomänen von Gesundheitssystem (*Smart Health*), über Städteplanung (*Smart City*), im Industriesektor (*Industrie 4.0*) bis zum Privatbereich (*Smart Energy, Smart Home, Smart Health*) (Fleisch et al. 2015, S. 446). Durch ihre vielfältigen Einsatzmöglichkeiten tangieren diese – oft vereinfacht als smarte oder intelligent bezeichneten – digitalisierten Produkte auch verschiedene globalen Herausforderungsbereiche, denen sich die heutige Gesellschaft gegenüber sieht, nicht zuletzt den Klimawandel, den Bereich der Mobilität, der Inklusion oder der Gesundheit (European Commission 2021, o. S.). Dadurch kommt ihnen eine wichtige Rolle bei der Bewältigung gesellschaftlicher Herausforderungen zu.

Digitalisierte Produkte zählen zur dritten Welle der Digitalisierung, die durch Fortschritte im Bereich digitaler Technologien bisher hervorgebracht wurden und Business und Gesellschaft fundamental verändern (Legner et al. 2017, S. 301–302). Durch das in dieser Größe noch nie dagewesen Volumen digitaler Spuren ermöglichen digitalisierte Produkte u. a. die Zusammenführung separater Nutzererfahrungen und Branchen sowie unerwartete Innovationen (Yoo et al. 2012, S. 1399–1400). Sie spielen daher als neuartige Ressourcenverknüpfung einerseits in Form von Treibern und andererseits als Ergebnisse des digitalen Innovationsprozesses eine Rolle. Dadurch tangieren sie sowohl die digitale Transformation als auch die digitale Disruption. Während die digitale Transformation als evolutionärer Prozess verstanden werden kann, der neue Geschäftsmodelle, Prozesse und Kundenerfahrungen ermöglichen soll, versteht sich die digitale Disruption als eher rapide stattfindende Transformation (Morakanyane et al. 2017, S. 437; Skog et al. 2018). Digitalisierte Produkte unterstützen Unternehmen darüber hinaus, indem sie eine Brücke zur vollen Digitalisierung bilden (Roecker et al. 2017, S. 8) und generieren sowohl einen Wert für den Kunden als auch für das Unternehmen (Novales et al. 2019, S. 3).

In Deutschland nutzten 2020 bereits 3,3 Millionen Menschen smarte Haushaltsgeräte wie Saugroboter, Kühlschränke oder Kaffeemaschinen, ebenso wie smarte Gesundheitsgeräte zur Überwachung von bspw. Blutdruck, Blutzucker oder Körpergewicht. Beliebter waren allerdings mit dem Internet verbundene Geräte bzw. Systeme, die dem Energiemanagement von Häusern oder Wohnungen dienen, Thermostate, Stromzähler, oder Geräte für die Steuerung der Beleuchtung. Am meisten fanden jedoch intelligente Lautsprecher oder Apps, wie Google Home,

Alexa, Siri oder Cortana Einsatz; seltener installiert wurden dagegen smarte Sicherheitslösungen für Haus oder Wohnung wie Alarmanalgen, Überwachungskameras oder Rauchmelder. Dabei werden die Smart-Home-Technologien von Männern und Frauen gleichermaßen genutzt sowie auch in allen Altersgruppen (Destatis 2021b, o. S.; 2021c, o. S.).

Mit 5 % der Bevölkerung im Alter von 16 bis 74 Jahren lag Deutschland im europäischen Vergleich bei der Nutzung von z. B. smarten Gesundheitsgeräten allerdings noch im Durchschnitt (Eurostat 2020, o. S.; Destatis 2021a, o. S.). Schätzungen für die Nutzung von Smart-Home-Geräten in deutschen Haushalten sehen allerdings ein starkes Wachstum in den verschiedenen Produktkategorien bis 2025 vor. So wird prognostiziert, dass die Nutzung smarter Haushaltsgeräte in der Zeit von 2020 bis 2025 von 3 auf 12 Millionen Haushalte anwachsen wird und in Bezug auf Geräte der Kategorie Vernetzung und Steuerung von 5 auf 20 Millionen (Brandt 2021, o. S.). Digitalisierte Produkte gewinnen somit zunehmend auch aus Sicht der Privathaushalte eine immer größere Bedeutung.

Smarte bzw. digitalisierte Produkte bieten folglich ein enormes, facettenreiches Potential gleichermaßen für Privathaushalte, Unternehmen und die Gesellschaft. Die Produkte stehen damit in der Tradition von Informationssystemen als Enabler der Automatisierung zur Verbesserung der Effizienz. Anders als traditionelle Informationssysteme nehmen sie jedoch direkten Einfluss auf die Kernprodukte und Services, statt nur eine Support-Funktion darzustellen (Legner et al. 2017, S. 305). Ihr volles Potential werden sie allerdings erst im Laufe der nächsten Jahre durch eine noch stärkere Marktdurchdringung und durch Lösung der mit den Produkten in Zusammenhang stehenden Herausforderungen entfalten können.

1.1 Problemstellung der Betrachtungsdomäne

Die durch digitalisierte Produkte entstehenden Human-Computer-Interaction-Systeme (HCI) unterscheiden sich von traditionellen HCI-Systemen durch ihre neuen Möglichkeiten in den nachfolgenden Aspekten, die eine natürliche(re) Interaktion ermöglichen (Poppe et al. 2007, S. 236–238):

- *Sensing*: z. B. automatische Spracherkennung, Video Tracking, Tags, Lichtsensoren,
- *Dialog-Initiative*: proaktive Systeme oder mixed-initiative Systeme statt responsiver Systeme,
- *variierende physische Interfaces*: z. B. immersive Displays, interaktive Bilboards, Wearables und eingebettete Displays,

- *Verschiebung des Anwendungszwecks*: Fokus auf Interaktion bzw. Everyday Life und damit den Nutzer sowie Produktintegration statt auf Tasks.

Die Gestaltung und Entwicklung dieser Produkte zu erschwinglichen Preisen ist erst durch Technologieentwicklungen u. a. in den Bereichen Speicherkapazität, Rechenleistung und Big Data Analytics in den letzten Jahren möglich geworden (Porter und Heppelmann 2014a, S. 68; Legner et al. 2017, S. 305). Daher stehen fundierte, integrative und umfangreiche Hilfestellungen für die Entwicklung und die Gestaltung der Produkte bisher noch nicht zur Verfügung (Holler et al. 2018, S. 136). Es existieren zwar durchaus Ansätze für die einzelnen Komponenten digitalisierter Produkte (z. B. Entwicklungsprozesse und Qualitätsstandards für Software), diese berücksichtigen allerdings häufig nicht die spezifischen Besonderheiten digitalisierter Produkte – insbesondere ihre generative und nicht-materielle Natur (Holler et al. 2018, 134–136; Schiller et al. 2018, S. 6–7).

LINDQVIST UND NEUMANN (2017, S. 30) konstatieren daher, dass die Best Practices in diesem Bereich generell noch nicht annähernd gut genug sind. Mehr noch, viele IT-Bereiche von Unternehmen besitzen für eine systematische Entwicklung von Geschäftsinnovationen durch technologische Innovationen nicht die notwendigen Strukturen, Prozesse oder Fähigkeiten und sind damit nicht optimal für die Herausforderungen einer digitalen Ära aufgestellt (Legner et al. 2017, S. 306).

Dies zeigt sich auch in den mannigfaltigen Problemstellungen der digitalisierten Produkte wie Messungenauigkeiten (Rooksby et al. 2014), Fehlnutzung (Albrecht und von Jan 2016) und Problemen bei der Interpretation von Daten (Li et al. 2010). Der Wettbewerb in Bezug auf den schnellsten Markteintritt führte zudem zur Vernachlässigung von Sicherheitsrisiken und beim Schutz der Privatsphäre (Lindqvist und Neumann 2017, S. 28).

Die identifizierten Herausforderungen der Produkte können sowohl abhängig von ihrer jeweiligen Anwendungsdomäne sein, wie die fehlerhaften Diagnosen im Smart-Health-Bereich zeigen (Albrecht und von Jan 2016), als auch Anwendungsdomänen-unabhängig wie Interoperabilitätsprobleme verschiedener Produkte bzw. Produktkomponenten (Novales et al. 2016; Rooksby et al. 2014; Shih et al. 2015; De Moya und Pallud 2017). Die Interoperabilitätsprobleme zeigen auch, dass die Herausforderungen nicht nur für smarte bzw. digitalisierte Produkte bestehen, da Interoperabilität ein allgemeines Problem von Informationstechnologien darstellt (Lindqvist und Neumann 2017, S. 30). Einige Herausforderungen haben darüber hinaus einen direkten, negativen Einfluss auf den Erwerb und – wie bereits angesprochen – den Einsatz der digitalisierten Produkte im Bereich des fehlenden Schutzes von Sicherheit und Privatsphäre (Destatis 2021b, o. S.).

Die gestiegene Nutzung und Verfügbarkeit digitaler Technologien und Informationen haben zudem das Konsumenten-Verhalten und die Produzenten-Konsumenten-Beziehung verändert. Konsumenten sind informierter, stehen im Austausch miteinander und weisen digitale Kompetenzen auf. Dies hat zu einer Demokratisierung des Contents, veränderten Erwartungen bzgl. des Angebots an Unternehmen, Hyper-Differenzierung von Produkten, veränderter Interaktion und einer Machtverschiebung hin zu den Konsumenten geführt (Piccinini et al. 2015, S. 1641–1643). Die Konsumenten werden daher mittlerweile analog zu den technologischen Entwicklungen selbst als Treiber der Digitalisierung bzw. der digitalen Transformation eingeordnet (Legner et al. 2017, S. 302–303).

LEGNER ET AL. (2017, S. 306) warnen daher davor, digitalisierte Produkte nur als technologische Artefakte zu betrachten, da sie in der Regel Teil größerer sozio-technischer Systeme sind, die große Teile der Gesellschaft involvieren und auf großen Plattformen und Ökosystemen basieren. Digitale Innovationen sind inhärent abhängig von der technologischen und unternehmerischen Umgebung, die Ressourcen und Kontext für die Identifikation neuer Kombinationsmöglichkeiten zur Verfügung stellt (Skog et al. 2018, S. 433). Daher lassen sich neben den Produkt- bzw. Technologie-bezogenen Herausforderungen auch neuere Herausforderungen identifizieren wie Technostress oder fehlende Gesetzesgrundlagen (Legner et al. 2017, S. 305).

Smarte bzw. digitalisierte Produkte weisen daher, wie für Innovationen charakteristisch, noch zahlreiche Herausforderungen auf verschiedenen Ebenen auf, die es für Anbieter und Entwickler solcher Produkte gilt zu lösen und bei denen die Forschung unterstützend beitragen kann.

1.2 Stand der Forschung und Forschungspotential der Betrachtungsdomäne

Die Forschungslandschaft in Bezug auf smarte bzw. digitalisierte Produkte ist trotz des Potentials und der mannigfaltigen Herausforderungen als sehr heterogen und wenig holistisch zu bewerten. Nur wenige Autoren beschäftigen sich mit digitalisierten Produkten aus ganzheitlicher Sicht; vielmehr finden sich Publikationen und Ansätze trotz der Gemeinsamkeiten des zugrundeliegenden Artefakts in unterschiedlichen Domänen bzw. unter verschiedenen Schlagworten wieder (z. B. Smart City, Industrie 4.0, Internet of Things, Context-aware Systems oder Cyber-physical Systems).

Einen zusammenführenden und kategorisierenden Überblick über die verschiedenen Problemstellungen, um Forschungslücken und Gemeinsamkeiten – auch zu

anderen Informationssystemen (IS) – aufzuzeigen, findet sich daher in der Forschungsliteratur bisher nicht. Auch die Übersicht zu Management-Problemstellungen digitalisierter Produkte von NOVALES ET AL. (2016) verzichtet auf eine multidimensionale Problemstellung und nutzt als Datenbasis vergleichsweise nur eine sehr geringe Menge an Publikationen.

Eine fehlende einheitliche Terminologie erschwert darüber hinaus die Suche nach entsprechenden Forschungsergebnissen. Gerade die zugrundeliegenden Begrifflichkeiten bzw. Forschungsgebiete wie *Smart, connected Products* (Porter und Heppelmann 2014a), *Internet of Things (and Humans)* (O'Reilly 2014), *Ubiquitous Computing* (Swan 2012, S. 218) oder *Digitized Products* (Novales et al. 2016) werden synonym und homonym verwendet (Schuh et al. 2019, S. 229; Pérez Hernández und Reiff-Marganiec 2014, S. 311). Neben der nicht trennscharfen Verwendung der Begriffe untereinander existieren auch keine einheitlichen Definitionen für die Begriffe selbst. Der Begriff *Internet of Things* (IoT) wird, z. B. in Abhängigkeit von seinem Fokus auf *Internet* oder *Things*, unterschiedlich definiert (Atzori et al. 2010, S. 2788–2789).

HERTERICH UND MIKUSZ (2016, S. 4–15) sehen daher Forschungsbedarf, um die mehrdeutigen Konzepte aufzulösen und so einen konsistenten *Body of Knowledge* zu ermöglichen. Ihre Analyse der Theorien und Konstrukte digitalisierter Artefakte identifizieren hierfür vier grundsätzliche Forschungsströme:

- Der 1. Strom *Ubiquitous und Pervasive Computing* weist das früheste Verständnis digitalisierter Produkte auf und befasst sich mit der Einbettung traditioneller Computeraufgaben in die Umgebung (Fokus Kontext).
- Der 2. Strom *Digital Product Innovation and Digitized Products* fokussiert auf das Design bzw. die Architektur digitalisierter Produkte (Fokus Modularisierung und stoffliche Beschaffenheit).
- Der 3. Strom *Digitized Service Innovation* beschäftigt sich mit dem Einsatz von Dienstleistungs-Plattformen für die Werterzeugung unter Berücksichtigung der Service-dominant-Logic-Perspektive.
- Der 4. Strom *Digitized Product Service Systems* repräsentiert die eher Praxis-orientierte Literatur und befasst sich daher mit Konzepten der Product-Service-Transition und der Verbindung von digitalisierten Artefakten und Geschäftsmodellinnovationen.

Die Ströme 2. und 3. weisen nach Einschätzung von HERTERICH UND MIKUSZ (2016, S. 4–15) aufgrund zugrundeliegender erster theoretischer Fundierungen nach das größte Forschungspotential auf. Aber sie identifizieren gleichwohl konzeptionelle Forschungslücken für alle Ströme, die mit der skizzierten fehlenden einheitlichen

Terminologie und damit verbundenen Konzepten zusammenhängen. Erste Ansätze in diesem Bereich bietet insbesondere die von PÜSCHEL ET AL. (2016) vorgeschlagene Taxonomie smarterer Dinge, die auch die vorgeschlagenen konzeptuellen Architekturen digitalisierter Produkte von FLEISCH ET AL. (2015), PORTER UND HEPPELMANN (2014a) und YOO ET AL. (2010) berücksichtigt.

Weitere offene Forschungsfelder sind HERTERICH UND MIKUSZ (2016, S. 15) nach eine interdisziplinäre Betrachtungsweise, Leitfäden für die Gestaltung und Entwicklung der Artefakte, insbesondere unter Berücksichtigung des Nutzungskontexts und der generativen Natur digitalisierter Artefakte, sowie Methoden für ihre Implementierung. Hier setzt die Arbeit von HOLLER ET AL. (2018) an, die die Grundlagen für ein Methodenkompendium zur Entwicklung von digitalisierten Produkten schafft. Ihre Arbeit zeigt jedoch auch die Notwendigkeit neuer sozio-technischer Engineering- und Innovationsansätze für digitalisierte Produkte (Holler et al. 2018, S. 148).

Zusammenfassend ist somit festzustellen, dass zu smarten bzw. digitalisierten Produkten noch vielfältige Forschungsfelder und Fragen existieren.

1.3 Forschungsfragen, Zielsetzung und Ergebnisartefakt der Arbeit

Die bisherigen Ausführungen haben gezeigt, dass der Bereich digitalisierter bzw. smarterer Produkte durch ihre vielfältigen Einsatzmöglichkeiten zahlreiche Nutzenpotentiale für Unternehmen, öffentliche Einrichtungen und private Haushalte bieten, sofern diese Technologien erfolgreich etabliert werden können. Aus Forschungssicht bietet die Domäne der digitalisierten Produkte noch viele offene Potentiale. Im Vordergrund aus Forschungssicht steht jedoch das grundlegende Probleme der fehlenden Wissenskonsolidierung und der bisher nicht trennscharfen Terminologie. Demgegenüber stehen die zahlreichen Entwicklungsprobleme, mit denen sich die Praxis konfrontiert sieht. Für diese Arbeit ergibt sich daher das folgende Ziel:

Ziel der vorliegenden Forschungsarbeit ist die Konsolidierung des bisherigen Wissens der Entwicklung digitalisierter Produkte aus den verschiedenen Anwendungs- und Forschungsdomänen zur Unterstützung eines einheitlichen Body of Knowledge.

Das Ziel dieser Arbeit basiert damit auf der Hypothese, dass die Anwendungs- und Forschungsdomänen digitalisierter Produkte trotz unterschiedlicher Praxisausprägungen dasselbe Artefakt als zentralen Betrachtungsgegenstand besitzen. Auf Basis dieser Hypothese kann angenommen werden, dass sich durch eine

domänenübergreifenden Forschung Synergieeffekte für alle Domänen digitalisierter Produkte ergeben.

Der Fokus auf die Entwicklung digitalisierter Produkte (und damit produzierende Unternehmen) erzeugt wiederum eine Richtung für die Wissens-Konsolidierung, also welches Wissen zusammengeführt werden soll. Durch den dabei entstehenden Praxisbezug (Entwicklung digitalisierter Produkte) kann gleichermaßen sowohl ein Beitrag für die Forschung (Wissenskonsolidierung) als auch ein Beitrag für die Praxis (Anwendungswissen) erbracht werden.

Vor diesem Hintergrund ergibt sich daher die folgende zu beantwortende Leitfrage, die das Ziel der Arbeit operationalisiert:

Leitfrage: Wie können Unternehmen den mannigfaltigen Anforderungen und Herausforderungen, die die Entwicklung und Einführung digitalisierte Produkte betreffen, begegnen?

Zur schrittweisen Beantwortung der Leitfrage lassen sich aus der Leitfrage die folgenden Teilfragen ableiten:

1. *Wie unterscheiden sich die Forschungs- und Anwendungsdomänen digitalisierter Produkte bzw. in welchem Zusammenhang stehen sie?*
2. *Was sind konzeptionelle, domänenunabhängige bzw. domänenübergreifende Merkmale digitalisierter Produkte?*
3. *Welche Herausforderungen existieren für digitalisierte Produkte und wie lassen sich diese kategorisieren?*
4. *Wie können Unternehmen den identifizierten Herausforderungen begegnen?*

Die erste Frage zielt auf den ersten Teil des thematischen Bezugsrahmens der vorliegenden Arbeit ab. Ihre Beantwortung soll ein Verständnis für die Domänen digitalisierter Produkte zu erzeugen, die entweder Wissen für die Entwicklung und den Einsatz digitalisierter Produkte bereitstellen (Forschungsdomänen) oder deren praktisches Einsatzgebiet konstituieren (Anwendungsdomänen).

Die Beantwortung der zweiten Frage und dritten Frage erzeugt den zweiten Teil des thematischen Bezugsrahmens, indem die konzeptionellen Merkmale digitalisierter Produkte domänenübergreifend herausgearbeitet werden. Das dadurch erzielte Verständnis über digitalisierte Produkte bildet die Grundlage für die in der dritte Frage identifizierten und kategorisierten Herausforderungen.

Der insgesamt geschaffene Bezugsrahmen bildet dann die Grundlage für die Beantwortung der vierten Frage und damit die Basis für das eigentliche Ergebnisar-tefakt der vorliegenden Arbeit.

Dieses Ergebnisartefakt ist folgendermaßen zu spezifizieren:

Ergebnisartefakt: Als Lösungsansatz der vorliegenden Arbeit ist die Konzeption und Entwicklung eines domänenunabhängigen bzw. -übergreifenden Reifegradmodells angedacht. Dieses ermöglicht die Konsolidierung des Wissens über zu berücksichtigende Aspekte bei der Entwicklung digitalisierter Produkte zur Begegnung der Praxis Herausforderungen.

Reifegradmodelle stellen wiederverwendbare Modelle dar, die allgemeingültige Lösungskonzepte für eine definierte Domäne bereitstellen (Mettler 2010, S. 76). Sie können daher als konsolidierte Wissenssammlung einer Domäne angesehen werden, die zentrale Erkenntnisse und ggf. sogenannte Best Practices als Leitfäden zur Verbesserung zusammenführen (Fraser et al. 2002, S. 244; Mettler 2010, S. 77; Wendler 2014, S. 34). Das Ergebnisartefakt erlaubt somit die Beantwortung der vierten Frage und führt die Lösungen der ersten drei Teilfragen für die Beantwortung der Leitfrage zusammen. Dadurch wird somit auch das Ziel der Arbeit erfüllt.

Die Entwicklung des spezifizierten Ergebnisartefakts kann darüber hinaus auch Erkenntnisse über die Anwendung der Methode in Domänen mit wenig theoretischer Fundierung liefern und damit ergänzend einen Beitrag zur Reifegradmodellforschung leisten, da es sich bei der Domäne der digitalisierten Produkte um eine eher junge Domäne handelt.

1.4 Forschungsmethodische Positionierung der Arbeit

Die vorliegende Arbeit ist ausgerichtet auf die Entwicklung und Zusammenführung von Gestaltungsempfehlungen in Form eines Reifegradmodells für die Entwicklung von digitalisierten, physischen Objekten. Die Arbeit ordnet sich in die interdisziplinäre Forschungsdisziplin Wirtschaftsinformatik ein, deren Betrachtungsgegenstand *„soziotechnische Systeme [sind], die menschliche und maschinelle Komponenten (Teilsysteme) umfassen“* (WKWI und GI FB WI 2011, o. S.). Neben der Erkenntnisgewinnung, Bewertung und Prognosen in Bezug auf IS ist *„die gestaltungsorientierte Konstruktion von IS sowie die dafür notwendige (Weiter-) Entwicklung von Konzepten, Vorgehensweisen, Modellen, Methoden, Werkzeugen und (Modellierungs-) Sprachen“* (WKWI und GI FB WI 2011, o. S.) ebenfalls Ziel der Wirtschaftsinformatik (*Anm.:* Nähere Ausführungen, inwieweit es sich bei digitalisierten Produkten um soziotechnische Systeme handelt, finden sich später in der Arbeit in Kapitel 3.2).

Die Wirtschaftsinformatik hat dabei die selbstdefinierte Aufgabe und Verantwortung, sowohl vielversprechende technologische Entwicklungen adäquat identifizieren und filtern zu können als auch die damit einhergehenden Anforderungen der erfolgreichen Umsetzung und Integration in vorhandene Unternehmenslandschaften realistisch beurteilen zu können. Aufgrund ihrer Nähe zu den entsprechenden Bereichen ist die Wirtschaftsinformatik ebenfalls in der Lage umfangreiche Analysen, die technologische, ökonomische und soziale Aspekte berücksichtigen, durchzuführen (Legner et al. 2017, S. 304). Die Wirtschaftsinformatikforschung ist somit geeignet, sich den Herausforderungen der Schließung der Forschungslücken zu digitalisierten Produkten zu stellen und entsprechende Analysen und Artefakte bereitzustellen.

Die (deutschsprachige) Wirtschaftsinformatik ist als Schwesterdisziplin zur empirisch-behavioristisch geprägten angelsächsischen *Information System Research* einzuordnen. Die konstruktions- bzw. gestaltungsorientierten Forschungsarbeiten der Information Systems Research positionieren sich hier unter dem Forschungsparadigma der *Design Science (Research)* und verfolgen das Ziel einen Wissensbeitrag durch die Konstruktion und Evaluation von *soziotechnischen Artefakten* (auch IT/IS-Artefakt oder nur Artefakt bezeichnet) unter Berücksichtigung von *Rigor* (etwa: adäquate Anwendung existierender Grundlagen und Methodologien) und *Relevance*¹ (etwa: Adressierung eines Bedarfs in der Unternehmenspraxis) zu leisten (Hevner et al. 2004, S. 77–82; Gregor und Hevner 2013, S. 337–340). Unter Konstruktion wird in der Design Science Research die Entwicklung eines Artefakts für einen spezifischen Zweck verstanden, während Evaluation den Prozess der Leistungsüberprüfung eines Artefakts thematisiert (March und Smith 1995, S. 254).

Hierfür werden in der Design Science klassischerweise vier Artefakt-Typen unterschieden (March und Smith 1995, S. 253–258): *Konstrukte, Modelle, Methoden und Implementierungen (bzw. Instanzen)*. Die vier Typen stehen in einer gewissen Abhängigkeit zueinander, wie dies auch in Tabelle 1 zu erkennen ist: So stellen z. B. Implementierungen die Operationalisierung von Konstrukten, Modellen und Methoden dar; während Modelle die Beziehungen zwischen Konstruktionen und Realitätsstrukturen repräsentieren.

Damit differenziert sich die Design Science vor allem im Aspekt der Evaluation von der (deutschsprachigen) Wirtschaftsinformatik, die diesen Bereich zumindest in ihrem Disziplin-Grundverständnis (siehe hierzu WKWI UND GI FB WI (2011)) nicht

¹ Im Gegensatz zu dem Streit bzgl. *rigor* oder *relevance* wie in (Zelewski 2007, S. 76) angesprochen.

verschriftlicht hat. Die Design Science sieht dagegen Evaluation als Basisaktivität der Forschung bzw. zentralen Bestandteil einer Design-Science-Publikation vor, um Feedback für die Gestaltung zu liefern (Hevner et al. 2004, S. 85) und die Nützlichkeit des Artefakts sicherzustellen (Gregor und Hevner 2013, S. 350):

„The artifact is evaluated to demonstrate its worth with evidence addressing criteria such as validity, utility, quality, and efficacy“.

Artefakt-Typ	Beschreibung
Konstrukte	Konzeptualisierung der Sprache und des geteilten Wissens eine Disziplin und damit Charakterisierung eines Phänomens
Modelle	Repräsentation der Beziehung zwischen Konstruktionen und Strukturen der Realität als Beschreibung von Aufgaben, Zuständen oder Artefakten
Methoden	Satz an Schritten zur zielgerichteten Durchführung von Aufgaben (basierend auf Konstrukten und Modellen)
Implementierungen/ Instanzen	Operationalisierung von Konstrukten, Modellen und Methoden zur Demonstration der Ausführbarkeit und Effektivität

Tabelle 1: Design Science Research Artefakttypen mit Beschreibung

In Anlehnung an MARCH UND SMITH (1995, S. 253–258)

Neben dem Aspekt der Evaluation unterscheiden sich die beiden Disziplinen auch im zugrundeliegenden Informationssystemverständnis, wobei sich das der (deutschsprachigen) Wirtschaftsinformatik einem der vier Verständnisse der Information Systems zuordnen lässt (siehe hierzu Kapitel 3.2).

Inzwischen sprechen sich aber auch viele und führende Vertreter der gestaltungsorientierten Wirtschaftsinformatik für die Evaluation als wesentlicher Bestandteil wissenschaftlicher Forschung aus. Sie weisen allerdings auch auf die damit einhergehenden Probleme hin:

„Jenseits dedizierter Forschungsprojekte und institutioneller Rahmenbedingungen ist Evaluation gleichsam inhärenter Bestandteil wissenschaftlicher Forschung [...]. Die Wirtschaftsinformatik erbt dabei gleichsam die spezifischen Evaluationsprobleme der Informatik und der Ökonomie (Aufwand, Nutzen!). Daneben sieht sich die Forschung in der Wirtschaftsinformatik einigen eigentümlichen Evaluationsproblemen gegenüber [...]“
(Frank 1998, o. S.)²

Besondere Aufmerksamkeit und Verbreitung erhielt die Design Science durch das von HEVNER ET AL. (2004) dargelegte *Information Systems Research Framework* (siehe Abbildung 1) und zugehörige Guidelines (Zelewski 2007, S. 72–73; Venable 2010, S. 111). Das Framework illustriert, wie basierend auf Bedürfnissen der Praxis (*Guideline 2: Problem Relevance*) durch adäquate Anwendung von (Methoden-

² Im Laufe der Arbeit werden längere Zitate wichtiger Fachvertreter eingesetzt, insofern eine präzisere Formulierung nicht möglich ist.

)Wissen aus der Wissensbasis der Disziplin (*Guidelines 5: Research Rigor*), Artefakte (und Theorien) entwickelt (*Guideline 1: Design as an Artifact*) und evaluiert (*Guideline 3: Design Evaluation*) werden und die Wissensbasis der Disziplin durch dabei gewonnene neue Erkenntnisse erweitert wird (*Guideline 4: Research Contributions*).

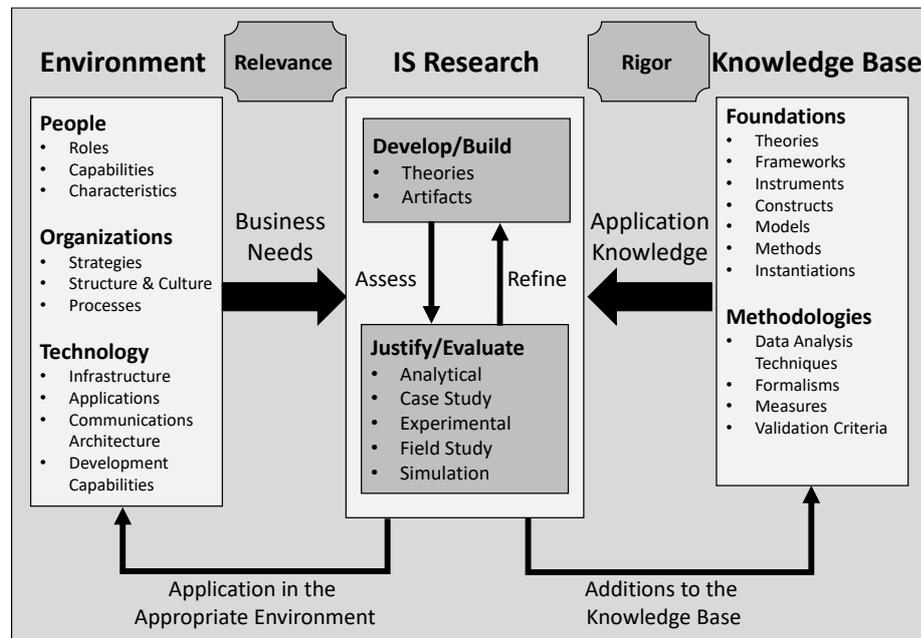


Abbildung 1: Information Systems Research Framework

Quelle: HEVNER ET AL. (2004, S. 80)

Dies verdeutlicht erneut, dass die Artefakt-Entwicklung und die Artefakt-Evaluation in der Design Science gleich gewichtet sind, was sich auch in den zugehörigen Guidelines explizit ausdrückt. Nicht direkt in der Abbildung enthalten sind die Guidelines 6 und 7. Die *Guideline 6: Design as a Search Process* stellt die Grundannahme dar, dass es sich bei der Artefakt-Gestaltung um einen iterativen Suchprozess durch Abwechslung der Phasen Konstruktion und Evaluation nach dem besten/optimalsten Design handelt. *Guideline 7: Communication of Research* behandelt die Präsentation des Forschungsvorhabens für Zielgruppen aus Forschung und Praxis (Hevner et al. 2004, S. 79–90).

Trotz des Frameworks und der zugehörigen Guidelines existieren innerhalb der Design Science zum Teil Meinungsunterschiede in Bezug auf Kriterien für die Evaluation der Artefakte sowie die Entwicklung und Nutzung einer *Design Theory* (Venable 2010, S. 121). GREGOR UND HEVNER (2013, S. 338–342) identifizieren hier exemplarisch die Gabelung in ein *Design-Theory*-Lager und ein *Pragmatic-Design*-Lager. Unter Design Theory werden dabei das formalisierte Wissen der Disziplin verstanden und damit Vorgaben für Gestaltung und Handeln innerhalb der Disziplin

lin. Sie stellt daher eine Abstraktion und Generalisierung der vier klassischen Artefakttypen dar (siehe Tabelle 1), weswegen GREGOR UND HEVNER (2013, S. 338–342) die beiden Lager nicht als gegensätzlich, sondern als komplementär zueinander einordnen. Es handelt sich vielmehr um unterschiedliche, aber gleichermaßen wichtige bzw. wertvolle Beiträge für die Wissensbasis der Disziplin. Die Design Theory kann daher als fünfter Artefakttyp verstanden werden, der im Vergleich das am meisten abstrakte, vollständige und reife Wissen konsolidiert. Im Kontrast dazu stellen Implementierungen/Instanzen den Artefakttyp dar, der das am meisten spezifische, beschränkte und wenigste reife Wissen repräsentiert, aber gleichzeitig durch Abstraktion die Grundlage für alle anderen Artefakttypen bildet. Konstrukte, Modelle und Methoden positionieren sich dementsprechend zwischen diesen beiden Extremen.

Neben der innerhalb der Design Science bestehenden Meinungsunterschiede wird seit Publikation des Frameworks auch entsprechende Kritik seitens der (deutschsprachigen) Wirtschaftsinformatik geäußert. So konstatiert FRANK (2007a, S. 169), dass der von HEVNER ET AL. (2004) dargereichte Ansatz sich nur auf Probleme beschränkt, „die in bereits existierenden Handlungssystemen wahrgenommen werden“ und damit eher auf „Reproduktion denn auf Innovation ausgerichtet ist“. Ebenso identifiziert ZELEWSKI (2007, S. 84–117) zahlreiche Argumentationsmängel, dies sowohl das Framework, als auch die zugehörigen Guidelines betreffend, wengleich er auch verschiedene Vorteile des Ansatzes würdigt.

Als Reaktion hierauf kann u. a. der Artikel von GREGOR UND HEVNER (2013, S. 345–349) verstanden werden, in dem sich innovative Ansätze im Invention-Quadranten als eine von vier Möglichkeiten des wissenschaftlichen Beitrags im dortig vorgeschlagenen *Design Science Research Knowledge Contribution Framework* (vgl. Abbildung 2) wiederfinden lassen. Allerdings betonen GREGOR UND HEVNER (2013, S. 345–349) auch, dass *Erfindungen* in der Disziplin eher die Ausnahme darstellen und die meisten Forschungsarbeiten entweder *Verbesserungen* (Improvement) oder *Exaptationen* darstellen. Als Verbesserung verstehen sie die Entwicklung von besseren (z. B. effektiver, effizienter oder innovativer) Lösungen für bekannte Probleme. Exaptationen wiederum stellen ihrer Ansicht nach nicht-triviale Anpassung bzw. Übertragung von Lösungen aus anderen Bereichen dar. Ebenso selten sind, nach ihrer Einschätzung, Forschungsarbeiten aus dem letzten Quadranten, *Routine Design*, da hierbei Forschungsmöglichkeiten aufgrund der hohen Reife der bestehenden Lösungen und des hohen Verständnisses des Problembereichs weniger offensichtlich sind.

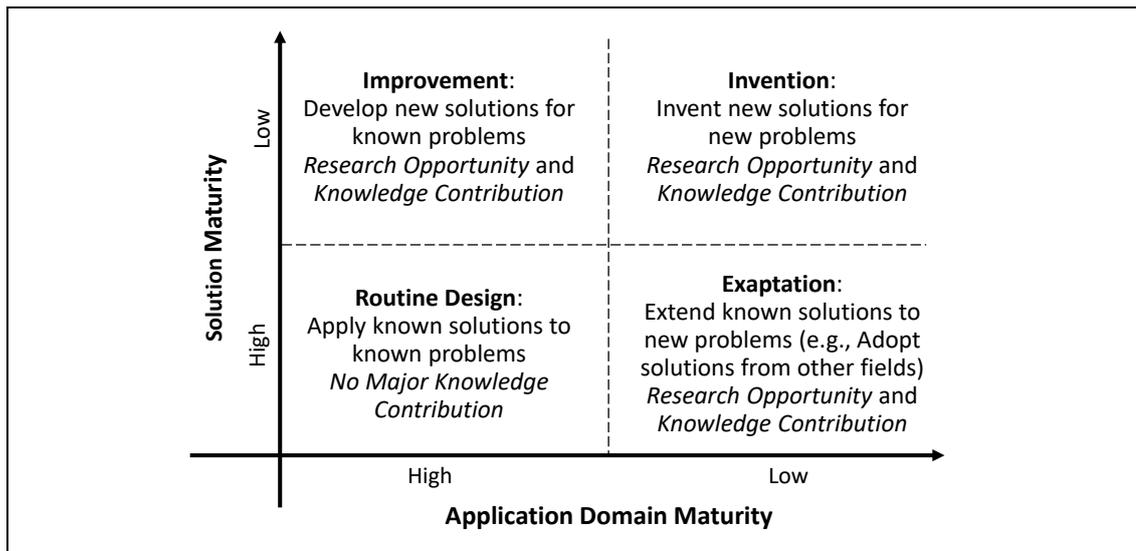


Abbildung 2: Design Science Research Knowledge Contribution Framework

Quelle: GREGOR UND HEVNER (2013, S. 345)

Trotz der Verbreitung der Design Science im englischsprachigen Raum durch das vorgestellte Framework kann noch keine vollständige Diffusion der Design Science in der Information Systems festgestellt werden. Weiterhin werden in der Information Systems primär empirisch-behavioristische Forschungsansätze verfolgt, so dass Methoden wie Umfragen, Labor-Experimente und Fallstudien, z. B. zur Untersuchung der Informationssystemnutzung, in entsprechenden (internationalen) Publikationsorganen favorisiert eingesetzt bzw. gefördert werden (Palvia et al. 2015, S. 639–640). Zunehmend zeigte sich diese Tendenz zur empirisch-behavioristischen Forschung in den letzten Jahren auch in der (deutschsprachigen) Wirtschaftsinformatik, was vor allem dem Druck des Publizierens in hochrangigen internationalen Zeitschriften zugeschrieben wird (Wilde und Hess 2007, S. 284–285; Schreiner et al. 2015, S. 8–11; Friedrich et al. 2017, S. 1118–1119) und sich dadurch auch in dem anhaltenden Diskurs über die theoretische Fundierung der deutschsprachigen Wirtschaftsinformatik widerspiegelt (Heinrich 2012, S. 315–328; Bichler et al. 2016).

Durch einerseits die Einführung der Design Science in der Information Systems und andererseits der steigenden Nutzung von empirisch-behavioristischen Forschungsansätzen in der Wirtschaftsinformatik erfolgt insgesamt eine zunehmende Annäherung der beiden Geschwisterdisziplinen, wodurch eine eindeutige Positionierung von Forschungsarbeiten in der einen oder anderen Disziplin nicht immer trennscharf möglich ist.

Im Rahmen der vorliegenden Forschungsarbeit wird, wie eingangs bereits skizziert, die gestaltungsorientierte Sicht der deutschsprachigen Wirtschaftsinformatik

eingenommen. Der gestaltungs- und anwendungsorientierte Kern und die Interdisziplinarität (Heinrich 2012, S. 326–327), die sich auch aus dem Praxisursprung der deutschsprachigen Wirtschaftsinformatik entwickelt haben, bieten jedoch eine geeignete Grundlage zur Lösung einer praxisorientierten, interdisziplinären Problemstellung wie die der digitalisierten Produkte. Durch die Überschneidung dieser gestaltungsorientierten Sicht mit dem Design-Science-Ansatz bzw. der Nutzung des Ansatzes in der Wirtschaftsinformatik werden jedoch quasi automatisch auch verschiedene Aspekte der Design Science Berücksichtigung finden.

Die Wirtschaftsinformatik bietet ein breites Methodenspektrum entweder „zur Gewinnung und Überprüfung von Erkenntnis (Forschungsmethoden) oder zur Verwertung von Erkenntnis (Entwicklungsmethoden)“ (Heinrich 2012, S. 324) an. Das Methodenspektrum lässt sich nach WILDE UND HESS (2007, S. 282–285) in sechs Kernmethoden sowie acht weitere Methoden kategorisieren (siehe Tabelle 2)

Kernmethoden	Weitere Methoden
<ul style="list-style-type: none"> • argumentativ-deduktive Analyse • konzeptionell-deduktive Analyse • formal-deduktive Analyse • Prototyping • Fallstudie • Quantitative Querschnittanalyse 	<ul style="list-style-type: none"> • Simulation • Referenzmodellierung • Aktionsforschung • Ethnographie • Grounded Theory • Qualitative Querschnittanalyse • Laborexperiment • Feldexperiment

Tabelle 2: Methodenspektrum der Wirtschaftsinformatik

In Anlehnung an WILDE UND HESS (2007, S. 282–285)

Die in der deutschsprachigen Wirtschaftsinformatik in erster Linie präferierte Methode ist die argumentativ-deduktive Analyse (Wilde und Hess 2007, S. 285; Friedrich et al. 2017, S. 1116–1121), wobei eine Verschiebung hin zu konzeptionellen Ansätzen zu beobachten ist (Schreiner et al. 2015, S. 13–14).

Darüber hinaus ist festzustellen, dass die Mehrheit der Forschungspublikationen einen Mehr-Methoden-Ansatz verfolgt, indem mindestens zwei Methoden kombiniert eingesetzt werden. Dabei wird ein Artefakt mithilfe einer Methode entwickelt (Primärmethode) und anschließend mit einer anderen Methode evaluiert (Sekundärmethode). Findet eine Kombination aus quantitativen und qualitativen Methoden statt, wird dies als Mixed-Methods-Design bezeichnet – ein Sonderfall, der sich vor allem in der (deutschsprachigen) Wirtschaftsinformatik etabliert hat (Schreiner et al. 2015, S. 13; Reis et al. 2022, S. 96). Die Tendenz zu Mehr-Methoden-Ansätzen und damit die Inkludierung von Evaluationen im Forschungs-

ansatz verdeutlicht ebenfalls die bereits skizzierte Annäherung der (deutschsprachigen) Wirtschaftsinformatik an die (englischsprachige) Design Science bzw. die Nutzung des Design-Science-Ansatzes in der gestaltungsorientierten Wirtschaftsinformatik.

Für Evaluationen werden in der deutschsprachigen Wirtschaftsinformatik präferiert Fallstudien eingesetzt (Friedrich et al. 2017, S. 1117; Schreiner et al. 2015, S. 12). Für die Design Science wiederum identifizieren PEFFERS ET AL. (2012, S. 401–402) insgesamt acht Evaluationsmethoden: (1) *Logical Argument*, (2) *Expert Evaluation*, (3) *Technical Experiment*, (4) *Subject-based Experiment*, (5) *Action Research*, (6) *Prototype*, (7) *Case Study*, (8) *Illustrative Scenario*. Die Wahl und der Einsatz der jeweiligen Methode ist u. a. abhängig vom jeweiligen Artefakt-Typ. So werden beispielsweise Fallstudien bevorzugt zur Evaluation von Methoden-Artefakten eingesetzt (Peppers et al. 2012, S. 404).

Als Ergebnisartefakt der vorliegenden Arbeit sind die Konzeption und Entwicklung eines Reifegradmodells vorgesehen, das bisherige Empfehlungen für die Entwicklung von digitalisierten Objekten systematisch zusammenführt. Aus Sicht der Wirtschaftsinformatik lässt sich die Reifegradmodellierung in den Methoden-Bereich der Referenzmodellierung verordnen:

„Die Referenzmodellierung erstellt induktiv (ausgehend von Beobachtungen) oder deduktiv (bspw. aus Theorien oder Modellen) meist vereinfachte und optimierte Abbildungen (Idealkonzepte) von Systemen, um so bestehende Erkenntnisse zu vertiefen und daraus Gestaltungsvorlagen zu generieren.“ (Wilde und Hess 2007, S. 282)

Ein Reifegradmodell stellt demnach ein Idealkonzept, z. B. des Systems *Unternehmen*, in verschiedenen Stufen dar. Aus Design-Science-Perspektive lassen sich Reifegradmodelle darüber hinaus „als Artefakte auffassen, die der Lösung des Problems der Standortbestimmung und der Ableitung von Verbesserungsvorschlägen dienen“ (Becker et al. 2009, S. 250).

Ein Reifegradmodell kann auch als Design Theory (auf hohen Grundsätzen basierende Erklärung eines Phänomens) klassifiziert werden, wenn eine reife Problemdomäne mit einer umfangreichen Wissensbasis und verfügbaren Testfällen vorliegen. In einem solchen Fall würde sich die Reifegradmodellierung in den naturwissenschaftlich-geprägten Bereich der Information Systems Research einordnen (March und Smith 1995, S. 253–254; Mettler 2009, o. S.).

Die Problemdomäne der digitalisierten Produkte ist jedoch noch eine eher junge, innovative Domäne. Daher handelt es sich bei dem Ergebnisartefakt dieser Arbeit um ein Artefakt im klassischen Sinn der Design Science, denn um eine Design Theory. Die Einordnung in den passenden Artefakttyp ist jedoch nicht trivial. Je

nach Modellfokus können Reifegradmodelle als *Modell-Artefakt* (Darstellung der Lösungselemente), als *Methoden-Artefakt* (Konzentration auf Aktivitäten zur Lösungserreichung) oder als *Implementierung* (Umsetzung in ein Softwareprodukt) kategorisiert werden (Mettler und Rohner 2009, o. S.; Mettler 2010, S. 78).

Da es kein allgemein anerkanntes Vorgehen zur Reifegradmodellentwicklung gibt, werden im Rahmen der vorliegenden Arbeit verschiedene Ansätze zusammengeführt, um aus Perspektive der (deutschsprachigen) Wirtschaftsinformatik ein geeignetes Vorgehen abzuleiten. Dabei wird sich an die Entwicklung eine Evaluation des Ergebnisses anschließen. Diese wird argumentativ und nicht empirisch durchgeführt (nähere Ausführungen hierzu finden sich im entsprechenden Methoden- und Evaluationsteil dieser Arbeit).

Die Vorgehensweise der Arbeit lässt sich somit im Kern dem Design-Science-Research-Ansatz zuordnen, wobei aber entsprechend der eigenommenen Perspektive der Fokus auf der Entwicklung und nicht der Evaluation liegt; zudem wird diese Evaluation nicht empirisch durchgeführt.

1.5 Gang der Untersuchung in dieser Arbeit

Aus der Design Science stammen verschiedene Vorschläge zum Aufbau wissenschaftlicher, konstruktionsorientierter Publikationen, die mittlerweile charakteristisch für Publikationen sowohl in der Design Science als auch in der gestaltungsorientierten Wirtschaftsinformatik sind:

Nach PEFFERS ET AL. (2008, S. 52–56) lässt sich ein Forschungsvorhaben der Design Science in sechs iterative Phasen aufteilen, wobei Rücksprünge in vorangegangene Phasen möglich sind:

1. *Problem Identification and Motivation*: Als erster Schritt wird das zugrunde liegende Problem identifiziert, definiert, ggf. in Teilprobleme zerlegt und der Wert einer Lösung begründet.
2. *Define the Objective for a Solution*: Aus der Problemdefinition und vorhandenen Möglichkeiten werden quantitative oder qualitative Zielvorstellungen für die Lösung abgeleitet.
3. *Design and Development*: Zunächst wird die Funktionalität und die Architektur bestimmt. Darauf aufbauend wird das Artefakt entwickelt.
4. *Demonstration*: Nachdem das Artefakt entwickelt wurde, wird dessen Anwendung durch Lösung einer oder mehrere Probleminstanzen demonstriert.
5. *Evaluation*: Im Rahmen einer Evaluation wird bewertet, inwieweit das Artefakt eine Lösung für das Problem darstellt, indem die abgeleiteten Zielvorstellungen mit den Ergebnissen der Demonstration abgeglichen werden.

6. *Communication*: Abschließend wird das gesamte Forschungsvorhaben für entsprechende Zielgruppen verfügbar gemacht.

PEFFERS ET AL. (2008, S. 52–56) zufolge kann zur Kommunikation des Forschungsvorhabens in entsprechenden Publikationsorganen die Prozessstruktur als Grundlage für die Publikationsstruktur verwendet werden.

GREGOR UND HEVNER (2013, S. 349–352) schlagen zur Publikation eines Design-Science-Forschungsvorhabens ein ähnliches Schema bestehend aus sieben Abschnitten vor:

1. *Introduction Section*: Zunächst werden die Problem-Definition, die Relevanz, die Forschungsziele, mögliche Beiträge für Forschung und Praxis und die Struktur der Publikation spezifiziert. Dies entspricht den Schritten 1 und 2 nach PEFFERS ET AL. (2008).
2. *Literature Review Section*: Als Grundlage für die Artefakt-Konstruktion wird mittels einer Literaturstudie das hierfür benötigte Wissen zusammengeführt. Dies entspricht Schritt 3 nach PEFFERS ET AL. (2008), wobei sich dort auf das Artefakt-Design- und Architektur-Wissen beschränkt wird.
3. *Method Section*: Im nächsten Abschnitt wird der methodische Ansatz für die Konstruktion und die Evaluation des Artefakts mit Bezug auf entsprechende Autoritäten in diesem Bereich begründet und erläutert. PEFFERS ET AL. (2008) bieten hierfür keinen äquivalenten Schritt.
4. *Artifact Description Section*: Die abstrahierte Beschreibung des entstandenen Artefakts nimmt den größten Teil der Publikation ein. Aufgrund der Artefakt-Varianz variiert dieser Abschnitt stark und kann daher unterschiedlich lang und segmentiert sein sowie unterschiedliche inhaltliche Komponenten aufweisen. Es sollten allerdings stets mindestens die Beschreibung des entwickelten Artefakts und die Beschreibung des Gestaltungsprozesses enthalten sein. Dieser Abschnitt entspricht zusammen mit Abschnitt 2 dem 3. Schritt von PEFFERS ET AL. (2008).
5. *Evaluation Section*: Durch die Evaluation findet die Überprüfung bzw. Demonstration der Nützlichkeit (und ggf. anderer Kriterien) des Artefakts statt. Dies wird im Ansatz von PEFFERS ET AL. (2008) allerdings in zwei Schritte aufgeteilt: (1) Demonstration des Einsatzes und (2) Evaluation der Effektivität und Effizienz.
6. *Discussion Section*: Nach der Evaluation findet die Zusammenführung und Interpretation der Ergebnisse statt. Je nach Artefakt und Zielgruppe ist der Abschnitt unterschiedlich ausgestaltet und kann Vergleiche oder Limitationen enthalten. Grundsätzlich sollte hier allerdings noch einmal die Neuartigkeit des

Artefakts begründet werden. Inhaltlich findet sich dieser Abschnitt entsprechend bei PEFFERS ET AL. (2008) innerhalb des Evaluationsschritts.

7. *Conclusions Section*: Als letzter Abschnitt ist die Konklusion durch die Hervorhebung der wichtigsten Ergebnisse vorgesehen. Dies findet sich bei PEFFERS ET AL. (2008) nicht wieder. Der letzte Schritt dort ist der Prozess der Kommunikation der Ergebnisse an das Zielpublikum (Veröffentlichung).

	Gregor und Hevner (2013)	Peppers et al. (2008)	Inhaltsbausteine
I	1. Introduction Section	1. Problem Identification and Motivation	Problem-Definition, Teil-Probleme, Relevanz, Beitrag für Forschung und Praxis, Struktur, Methodenüberblick
		2. Define the Objectives for a Solution	Quantitative oder qualitative Forschungsziele
II	2. Literature Review Section	3. Design and Development	Notwendigen Wissens für die Artefakt-Konstruktion (insb. Artefakt-Design und Architektur): Theorien, Studien, Praxisberichte, vorhandene Artefakte
III	3. Method Section	-	Methodische Ansatz für Konstruktion und Evaluation und Referenzen auf vorhandene Autoritäten
IV	4. Artifact Description Section	3. Design and Development	Abstrahierte Beschreibung von Artefakt und Gestaltungsprozess
V	5. Evaluation Section	4. Demonstration	Demonstration der Nützlichkeit durch Anwendung des Artefakts
	6. Discussion Section	5. Evaluation	Bewertung der Effektivität und Effizienz der Problemlösung (Zielvorgaben vs. Ergebnisse) sowie weiterer Kriterien (z. B. Validität, Qualität, Wirksamkeit) Zusammenfassung und Interpretation der Ergebnisse, auch in Bezug auf die Ziele und Forschungsbeitrag, sowie Vergleiche, Limitationen, Neuartigkeit, Signifikanz, und offene Aspekte
VI	7. Conclusions Section	-	Hervorhebung wichtiger Ideen und Ergebnisse

Tabelle 3: Komponenten einer Design-Science-Publikation

Quelle: In Anlehnung an GREGOR UND HEVNER (2013, S. 349–352)

und PEFFERS ET AL. (2008, S. 52–56)

Beide Schemata enthalten zentrale inhaltliche Komponenten zur Ausgestaltung einer Forschungspublikation vor, die sich aufgrund der inhaltlichen Überschneidungen in sechs grundlegende Abschnitte unterteilen lassen (siehe Tabelle 3). Sowohl GREGOR UND HEVNER (2013, S. 349) als auch PEFFERS ET AL. (2008, S. 56), weisen allerdings darauf hin, dass die vorgeschlagene Publikationsstruktur in der praktischen Anwendung variieren kann und nicht jede Komponente immer inkludiert sein muss. Es existieren nach ihrer Auffassung mehrere valide Optionen zur Zielerreichung.

Der skizzierte Aufbau der beiden Ansätze ist zwar für Publikationen in Fachzeitschriften angedacht. Jedoch kann eine Dissertation als umfangreichere Publikation verstanden werden. Daher sollten die von den Ansätzen vorgeschlagenen, zentralen Aspekte eines Forschungsprozesses in der Arbeit berücksichtigt werden. Sie wird deshalb entsprechend Abbildung 3 in sechs Teile strukturiert:

Abschnitt	Kapitel	Inhalt	Methodik
Teil I Einleitung	1	Motivation, Zieldefinition und Positionierung der Arbeit	Narrative Literatur- analyse
Teil II Thematischer Bezugsrahmen	2	Überblick über Anwendungs- und Forschungsdomänen digitalisierter Produkte	
	3	Konzeption und Herausforderungen digitalisierter Produkte	
Teil III Methodischer Ansatz	4	Vorstellung der Methodik der Reifegradmodellierung	Systematische Literatur- analyse
Teil IV Artefakt- entwicklung	5	Entwicklung des groben Reifegradmodellkonzept (Modellstruktur, Prinzipien, Parameter)	
	6	Entwicklung des feinen Reifegradmodellkonzept (inhaltliche Ausgestaltung, Zwischenevaluation, Methode der Reifebewertung)	Reifegrad- modellierung
Teil V Evaluation	7	Evaluation und Demonstration des Reifegradmodells	Illustratives Szenario
Teil VI Diskussion & Konklusion	8	Zusammenfassung, kritische Reflexion, Fazit und Ausblick	-

Abbildung 3: Aufbau dieser Arbeit

Der erste Teil führt in die Arbeit als Einleitung ein: Dazu werden u. a. die Problemstellung motiviert, der aktuelle Stand der Forschung dargestellt, Forschungsfragen und das Forschungsziel abgeleitet sowie der zugrundeliegende Forschungsansatz erläutert und positioniert (KAPITEL 1).

Im zweiten Teil der Arbeit wird der thematische Bezugsrahmen der Arbeit ausgearbeitet: Hierzu werden die Forschungs- und Anwendungsdomänen digitalisierter Produkte auf Basis der einschlägigen Fachliteratur voneinander differenziert, um auf diese Weise zentrale Konzepte zu ermitteln (KAPITEL 2). Darauf aufbauend können die Terminologie und Architektur digitalisierter Produkte definiert und entsprechende Herausforderungen identifiziert und kategorisiert werden (KAPITEL 3).

Im dritten Teil der Arbeit wird der methodische Ansatz, die Reifegradmodellierung, erörtert: Hierfür werden die zentralen Konzepte der Reifegradmodellierung vorgestellt und ein Vorgehen mit Teilschritten für diese Arbeit abgeleitet (KAPITEL 4).

Im vierten Teil der Arbeit wird das Reifegradmodell als Ergebnisartefakt der Arbeit konzipiert: Die Konzeption teilt sich in ein grobes Reifegradmodellkonzept, das die Modellstruktur, Prinzipien und Parameter des Modells konstituiert (KAPITEL 5), sowie ein feines Reifegradmodellkonzept, das die inhaltliche Modellausgestaltung beinhaltet (KAPITEL 6).

Im fünften Teil der Arbeit erfolgt die Evaluation und gleichzeitige Demonstration des zuvor erstellten Ergebnisartefakts (KAPITEL 7)

Der sechste Teil der Arbeit umfasst die abschließende Diskussion und Konklusion der Arbeit durch eine Zusammenfassung ihrer zentralen Ergebnisse, einer kritischen Reflexion der gewählten Vorgehensweise, einem abschließenden Fazit sowie einem Ausblick auf weitere Forschungsmöglichkeiten (KAPITEL 8).

1.6 Begleitende Forschungspublikationen

Die vorliegende Arbeit ordnet sich in ein umfassendes Forschungsfeld am Lehrstuhl für Wirtschaftsinformatik und Softwaretechnik der Universität Duisburg-Essen unter Beteiligung mehrerer Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter des Lehrstuhls ein. Die Ergebnisse der Forschung in dem Feld sind in mehreren Publikationen veröffentlicht worden. Folgende davon sind in diese Arbeit eingeflossen:

- Schiller, Barbara; Brogt, Tobias; Schuler, J. Peter M.; Strobel, Gero; Eicker, Stefan: *Identifying Quality Factors for Self-Tracking Solutions: A Systematic Literature Review*. In: Proceedings of the 53rd Hawaii International Conference on System Sciences. Hawaii, USA 2020. doi:10.24251/HICSS.2020.452
- Schiller, Barbara; Brogt, Tobias; Schuler, J. Peter M.; Strobel, Gero: *Can Self-Tracking Solutions Help with Understanding Quality of Smart, Connected Products?*. In: Ais (Hrsg.): Proceedings of the 26th European Conference on Information Systems (ECIS). Portsmouth 2018.
- Brogt, Tobias; Schiller, Barbara; Schuler, J. Peter M.; Eicker, Stefan: *The Role of Quality in Sociotechnical Systems*. In: Ais (Hrsg.): Proceedings of AMCIS 2017 - Twenty-third Americas Conference on Information Systems. Boston 2017.

Inhaltliche Überschneidungen und ggf. wörtlich übernommene Textstellen stellen somit das Ergebnis der Einbettung der vorliegenden Arbeit in das übergeordnete Forschungsvorhaben dar und werden im Rahmen der Arbeit nicht explizit ausgewiesen.

1.7 Typografische Konventionen

In der vorliegenden Arbeit werden folgende typografische Konventionen zur Erhöhung der Transparenz und zur Verbesserung des Leseflusses genutzt:

- Die Hervorhebung wichtiger Begriffe und Aussagen erfolgt in der Regel in kursiv; die Auszeichnung in fett ist dagegen weitgehend der Auszeichnung von Überschriften vorbehalten.

-
- Auf den Einsatz von Fußnoten wird nach Möglichkeiten verzichtet und nur bei sehr vereinzelt Sonderfällen zurückgegriffen.
 - Abkürzungen, die im Duden enthalten sind, werden nicht zusätzlich im Abkürzungsverzeichnis aufgeführt.
 - Quellenangaben mit multiplen Quellen werden primär anhand des Publikationsjahres und sekundär alphabetisch sortiert.
 - Quellen ohne Seitengaben erhalten statt einer Seitengabe die Abkürzung ‚o. S.‘ (ohne Seitenangabe).
 - Quellen ohne Jahresangabe erhalten statt einer Jahreszahl die Abkürzung ‚o. J.‘ (ohne Jahresangabe).

2 Analyse, Vergleich und Abgrenzung der Domänen digitalisierter Produkte

In dem vorliegenden Kapitel wird der Bezugsrahmen durch die Analyse und den Vergleich der Forschungs- und Anwendungsdomänen digitalisierter Produkte gebildet. Die Untersuchung der Terminologie, Konzepte und Zusammenhänge der zentralen Domänen, die sich mit digitalisierten Produkten befassen oder durch diese tangiert werden, schafft eine begriffliche und konzeptuelle Grundlage für die weitere Arbeit.

Zu diesem Zweck wird zwischen Forschungs- und Anwendungsdomänen unterschieden: Als *Forschungsdomäne* werden diejenigen Domänen bezeichnet, die sich konzeptuell mit digitalisierten Produkten für verschiedene realweltliche Anwendungsbereiche auseinandersetzen, wobei sie von den realweltlichen Anwendungsbereichen weitgehend abstrahieren (z. B. Ubiquitous Computing). Die *Anwendungsdomänen* wiederum stellen ebendiese realweltlichen Anwendungsbereichen von digitalisierten Produkten dar (z. B. Smart Home, Smart Farming oder Industrie 4.0) und sind damit weniger abstrakt als die Forschungsdomänen.

Nach einer Erläuterung des methodischen Vorgehens für die Erschließung der Inhalte dieses Kapitel (KAPITEL 2.1) werden zuerst die zentralen Forschungsdomänen digitalisierter Produkte identifiziert und zur Bildung eines Einordnungsschemas voneinander abgegrenzt (KAPITEL 2.2).

Darauf aufbauend werden die zentralen Anwendungsdomänen digitalisierter Produkte sowie ihre inhaltlichen und hierarchischen Zusammenhänge (auch in Bezug auf die Forschungsdomänen) untersucht (KAPITEL 2.3).

Das Kapitel schließt mit einer Zusammenfassung und kritischen Anmerkungen zu den zentralen Ergebnissen des Kapitels (KAPITEL 2.4).

2.1 Methodisches Vorgehen des Kapitels

Zur Identifizierung und Analyse der Forschungs- und Anwendungsdomänen digitalisierter Produkte wird die Methode der Literaturanalyse eingesetzt. Trotz unterschiedlicher Definitionen ist sich die Literatur einig, dass eine Literaturanalyse in erster Linie der Synthese (und Interpretation) der vorhandenen Literatur einer Domäne dient (Schryen 2015, S. 289–290).

Anhand der ausgewählten Beispiele in SCHRYEN ET AL. (2017, S. 761–762) wird jedoch offensichtlich, dass in Bezug auf Literaturanalysen nicht nur unterschiedliche Definitionen sondern vor allem auch unterschiedliche Klassifikationen existieren.

SCHRYEN ET AL. (2020, S. 136–137) identifizieren hieraus neun verschiedenen Literaturanalyse-Typen: (1) *Narrative Review*; (2) *Descriptive Review*; (3) *Scoping Review*; (4) *Critical Review*; (5) *Theoretical Review*; (6) *Realist Review*; (7) *Meta-analysis*; (8) *Qualitative Systematic Review*; (9) *Umbrella Review*.

Zusätzlich ordnen SCHRYEN ET AL. (2020, S. 136–137) die neun Typen jeweils einem von vier verschiedenen Zielen einer Literaturanalyse – *Beschreiben*, *Verstehen*, *Erklären* und *Theorie prüfen* – unter und zeigen auf, welche rückwärts (*Was wissen wir bereits?*) oder vorwärts (*Was müssen wir noch wissen und wie kommen wir dorthin?*) gerichtete wissensbildende Aktivitäten der jeweilige Typ aufweist.

Die Klassifikation und Analyse von SCHRYEN ET AL. (2020, S. 136–137) fokussiert sich allerdings auf Literaturanalysen, die z. B. in Form eines Zeitschriftenartikels veröffentlicht werden, und nicht auf Literaturanalysen zur qualitativen Ermittlung von Grundlagen im Rahmen von Qualifikationsarbeiten.

VOM BROCKE ET AL. (2015, S. 207) klassifizieren den Review-Bereich einer Forschungsthese als eine Mischung aus Background Reviews und Standalone Review Papers:

Background Reviews stellen dabei eine sekundär wissensbildende Aktivität im Rahmen einer meist empirischen Studie dar. Sie dienen u. a. zur Bildung von Forschungsfragen und Hypothesen oder zur Identifizierung von Methoden und Modellen für den Design-Prozess. Das grundlegende Ziel eines Background Reviews ist damit dem Review-Bereich einer Forschungsthese ähnlich. Jedoch gleicht der Rigor der Forschungsthese eher dem eines Standalone Reviews (Creswell 2009, S. 26–28; Webster und Watson 2002, S. xiii–xiv; Boell und Cecez-Kecmanovic 2014, S. 260; Okoli 2015, S. 882; vom Brocke et al. 2015, S. 207)³.

Die Literaturanalyse eines *Standalone Reviews* stellt die primäre wissensbildende Aktivität dar, um u. a. neue Theorien zu entwickeln, Potentiale für zukünftige Forschung zu identifizieren oder den Fortschritt in einem Interessensgebiet zu analysieren. Dadurch sind Standalone Reviews in der Regel länger als Background Reviews (Creswell 2009, S. 26–28; Webster und Watson 2002, S. xiii–xiv; Boell und Cecez-Kecmanovic 2014, S. 260; Okoli 2015, S. 882; vom Brocke et al. 2015, S. 207).

³ VOM BROCKE ET AL. (2015, S. 207) führen in ihrem Artikel OKOLI UND SCHABRAM (2010) als Primärquelle an, jedoch steht der Artikel aufgrund von Überarbeitung in dieser Form auf den Seiten des Verlags nicht mehr zur Verfügung. Stattdessen wird durch den Verlag auf OKOLI (2015) als überarbeitete, peer-reviewed Version des Original-Artikels verwiesen, sodass die neuere Version des Artikels in der vorliegenden Arbeit als Quelle genutzt wird.

Neben dieser ergebnisorientierten Perspektive unterscheiden VOM BROCKE ET AL. (2015, S. 207–212) weiter im Rahmen einer Methoden-Perspektive – im Gegensatz zu den neun Typen von SCHRYEN ET AL. (2020) – nur zwischen *Narrativen Reviews* und *Systematic Literature Reviews*. Ihnen zufolge ist jede Literaturanalyse, die einer gewissen grundlegenden Systematik folgt, ein Systematic Literature Review (dt. systematische Literaturanalyse).

In einer engeren Auslegung unterscheiden sich die beiden Typen aber weiter (Boell und Cecez-Kecmanovic 2015a, S. 164–168): Während Narrative Reviews vor allem stark durch das Vorwissen und die Erfahrung der am Prozess beteiligten Personen (*Reviewer*) geprägt sind, sind systematische Literaturanalysen durch ihr strukturiertes Vorgehen, in der Regel mit einem vorab definierten Protokoll für die Such- und Auswertungsstrategie, gekennzeichnet. Systematische Literaturanalysen werden daher oft von Teams durchgeführt, um die etwaige große Anzahl an Ergebnissen bearbeiten zu können. Allerdings weisen systematische Literaturanalysen durchaus einige Schwächen im Prozess auf – z. B. zu Beginn festgelegte, nicht veränderbare Suchbegriffe oder die subjektive Auswahl anhand von Titeln und Abstracts –, die die angestrebte Objektivität und Wiederholbarkeit der Suche stark einschränken.

BOELL UND CECEZ-KECMANOVIC (2015a, S. 164–169) empfehlen daher systematische Literaturanalysen nicht bei *Wie-* und *Warum-*Forschungsfragen einzusetzen. Die Methode ist stattdessen für eng definierte Forschungsfragen geeignet, die sich widerspruchsfrei zusammenfassend beantworten lassen. Narrative Reviews zielen dagegen auf die Entwicklung eines umfangreichen Verständnisses und die kritische Bewertung eines Themas durch intensives Lesen, Interpretieren, Vergleichen, Klassifizieren und Hinterfragen ab. Sie entsprechen damit einem kreativen Prozess.

SCHRYEN ET AL. (2020, S. 137–138) ordnen daher die Narrative Reviews als einen eigenständigen Literaturanalysetyp ein, der das Ziel des Beschreibens verfolgt. Hierbei kommen sowohl rückwärts- als auch vorwärtsgerichtete wissensbildende Aktivitäten zum Einsatz. Rückwärtsgerichtete wissensbildenden Aktivitäten fassen frühere Ergebnisse zu einem Thema narrativ zusammen, während vorwärtsgerichtete wissensbildende Aktivitäten der Identifizierung von Forschungslücken zur Entwicklung einer Agenda für Forschung und Praxis dienlich sind.

Narrative Reviews unterscheiden sich jedoch SCHRYEN ET AL. (2020, S. 137–138) zufolge von *Descriptive Reviews* und *Scoping Reviews*, die ebenfalls das Ziel des Beschreibens verfolgen. Descriptive Reviews führen Inhalte auch quantitativ zusammen, um z. B. Trends zu identifizieren oder die Entwicklung von Empfehlungen

ermöglichen. Scoping Reviews wiederum können den Stand der Forschung abbilden, indem sie den Umfang, den Geltungsbereich und die Eigenschaften Literatur zu einem Thema untersuchen.

Aus Methodenperspektive eignet sich zur Analyse von Begriffen und Konzepten der verschiedenen Domänen digitalisierter Produkte dementsprechend das methodische Vorgehen des **Narrativen Reviews**. Die Identifizierung und Analyse der Domänen sollen konzeptuell und ggf. historisch erfolgen. Demnach geht es nicht um die widerspruchsfreie Beantwortung einer eng gefassten Forschungsfrage wie bei der systematischen Literaturanalyse. Ebenfalls sollen keine quantitativen Analysen zur Identifizierung von Trends (Scoping Reviews) durchgeführt werden oder der Stand der Forschung zu einem Thema (Scoping Reviews) abgebildet werden.

Aus Prozesssicht lassen sich Literaturanalysen im Allgemeinen in die folgenden drei Kernaktivitäten aufteilen: (1) *Literatursuche*, (2) *Selektion der Literatur* und (3) *Synthese der Literatur*. Der Ablauf der Kernaktivitäten kann dabei *sequentiell* oder *iterativ* erfolgen. Sequentielle Literaturanalysen laufen dabei Schritt-für-Schritt (Suche → Analyse und Synthese → Output) ab, während iterative Analysen verflochtene, kontinuierliche Aktivitäten aus Suchen, Lesen, Lernen und Synthetisieren darstellen. Sequentielle Literaturanalysen werden daher meist für quantitative Literaturanalysen eingesetzt, zumal sie ein entsprechend umfangreicheres Domänenwissen voraussetzen. Iterative Suchen eignen sich dagegen eher für theoretische Konzept-orientierte Literaturanalysen (vom Brocke et al. 2015, S. 208–213). Für die Analyse von Begriffen und Konzepten der verschiedenen Domänen digitalisierter Produkte eignet sich im Folgenden somit das **iterative Vorgehen**.

Weitere a priori festzulegende Parameter einer Literaturanalyse stellen die Quellenabdeckung (*Coverage*) und der Quellen- bzw. Datenursprung (*Data Source*) dar (Cooper 1988, S. 109–111; vom Brocke et al. 2015, S. 214): Der Fokus dieses Kapitel liegt auf der konzeptuellen Erarbeitung der Domänen durch Auswahl und Zusammenführung von Werken, die **repräsentativ** (*Representation*) oder **zentral** (*Seminal*) für die jeweilige Domäne sind. Ziel ist demnach nicht die Erhebung aller Quellen für die jeweilige Domäne (*Comprehensive*). Dafür werden entsprechend eine Kombination **verschiedener Datenquellen** wie Datenbanken oder Konferenz-Webseiten zum Einsatz kommen.

Für jede *Keyword*-Datenbank-Suche wird darüber hinaus empfohlen, diese durch entsprechende **Vorwärts-** (*Forward Search*) und **Rückwärtssuchen** (*Backward Search*) zu ergänzen. Hierbei werden anhand von Referenzlisten, Autoren und

Schlüsselbegriffen der bereits identifizierten Publikationen weitere Beiträge ermittelt, um die durch die Datenbanken-Suche eingeschränkte Sicht zu erweitern und Sachverhalte zu vertiefen. Dadurch lassen sich z. B. auch verschiedene Begriffe für ein und denselben Sachverhalt ermitteln, die wiederum weitere Recherchen ermöglichen (Webster und Watson 2002, S. xvi; Levy und Ellis 2006, S. 189–192). SCHRYEN (2015, S. 297–302) fasst dies als zyklischen Literatur-Suchprozess zusammen, der solange weiterläuft bis etwaige Stopp-Kriterien erfüllt sind (z. B. keine neuen Ideen, Konzepte oder Modelle können mehr gefunden werden).

Die Tabelle 4 gibt einen Überblick über die gewählten Parameterausprägungen der Literaturanalyse dieses Kapitels, die hierfür dunkel eingefärbt wurden.

Outcome	Background Review	Standalone Review Paper	Research Thesis
Method	Describing	Narrative Review	Descriptive Review
	Understanding	Critical Review	
	Explaining	Theoretical Review	Realist Review
	Theory Testing	Meta-Analysis	Qualitative Systematic Review
Process	Sequential	Iterative	
Data Source	Citation Indexing Services	Bibliographic Databases	Publications
Coverage	Comprehensive	Representation	Seminal Works
Techniques	Keyword Search	Backward Search	Forward Search

Tabelle 4: Einordnung der Literaturanalyse für die Domänen digitalisierter Produkte

Quelle: in Anlehnung an COOPER (1988, S. 108–112),

VOM BROCKE ET AL. (2015, S. 214) und SCHRYEN ET AL. (2020, S. 137)

2.2 Identifizierung, Analyse und Vergleich der Forschungsdomänen digitalisierter Produkte

Die Idee der digitalisierten Produkte findet sich derzeit nicht nur in verschiedenen Anwendungsdomänen (z. B. Smart Health, Smart Home, Industrie 4.0), sondern auch in verschiedenen Forschungsgebieten (z. B. Ubiquitous Computing, Internet of Things, Pervasive Computing) wieder.

Als Forschungsdomäne werden Domänen bezeichnet, die sich konzeptuell mit digitalisierten Produkten für verschiedene realweltliche Anwendungsbereiche auseinandersetzen und damit von diesen Bereichen abstrahieren. Die Anwendungsdomänen stellen konkrete, abgegrenzte, realweltliche Einsatzbereiche von digitalisierten Produkten dar. *Internet of Things* wird daher beispielsweise als Forschungsdomäne verstanden, dessen Konzept(e) wiederum in verschiedenen

Anwendungsdomänen wie z. B. *Smart Home* oder *Smart Agriculture* Anwendung finden.

In der einschlägigen Literatur werden die verschiedenen Domänenbezeichner und ihre zugehörigen Objektbezeichner oft nur selten und meist lückenhaft voneinander abgegrenzt. Dies resultiert in einer synonym und homonym Verwendung der entsprechenden Begriffe. Dabei scheint die Entscheidung in Bezug auf die Wahl und Verwendung eines Bezeichners nicht immer nur auf konzeptuell-theoretischer Ebene zu erfolgen, sondern ist abhängig von Trends, der Disziplin der Publikation, dem Erstellungszeitpunkt der Publikation, den Vorlieben oder der Länderzugehörigkeit der Autoren. So wird zum Beispiel der Bezeichner *Pervasive Computing* vor allem in europäischen Publikationen präferiert, während der Bezeichner *Ubiquitous Computing* in asiatischen Publikationen favorisiert verwendet wird (Olson et al. 2015, S. 905–912).

Für diese Arbeit konnten drei Publikationen identifiziert werden, die durch die Identifizierung der populärsten Forschungsgebiete digitalisierter Produkte einen ersten Überblick über die vorhandene Terminologie-Landschaft geschaffen haben. Mit ihrer Hilfe können die für eine nachfolgende Tiefenanalyse relevanten Forschungsdomänen digitalisierter Produkte ausgewählt werden.

OLSON ET AL. (2015, S. 887–911) identifizieren elf zentrale konzeptuelle Ansätze im Problembereich der digitalisierten Produkte. Ihre Publikationsanalyse zeigte, dass die konzeptionellen Ansätze *Semantic Web*, *Ubiquitous Computing* und *Internet of Things* die am meisten referenzierten Ansätze in dem Bereich darstellen. Dabei liegt der Publikationshöhepunkt der Ansätze – mit Ausnahme von *Internet of Things* – in der Vergangenheit. Daneben stellt *Pervasive Computing* ebenfalls ein in der Literatur favorisierter Ansatz dar. *Ambient Intelligence*, *Smart Environment* und *System-of-Systems* wurden dagegen deutlich weniger oft in den Publikationen identifiziert und *Web of Things*, *Real World Internet*, *Digital Living* sowie *Ubiquitous Web* noch seltener. Bei *System-of-Systems* handelt es sich um den ältesten Ansatz, während *Semantic Web* wiederum die meisten Publikationen bis dato Veröffentlichung der Studie aufweisen kann.

Den Abwärtstrend bei *Ubiquitous Computing* und *Pervasive Computing* seit etwa 2007 konnten auch schon ZHAO UND WANG (2011, S. 596) in ihrer Analyse beobachten. Darüber hinaus identifizierten die Autoren neben *Ubiquitous* und *Pervasive Computing* zwei weitere große Forschungsbereiche: *Mobile Computing* und *Context-aware Computing*. Der Forschungsbereich *Ambient Intelligence* konnte dagegen als neuerer Bereich identifiziert werden und *Service Discovery*, *Smart*

Space (auch Smart Environment genannt) und *Grid Computing* als kleinere Forschungsbereiche.

TAKAYAMA (2017, S. 565–566) bietet ebenfalls einen – wenn auch kürzeren – Überblick über mit Ubiquitous Computing verwandte bzw. sich überschneidende Forschungsgebiete. Neben den bereits schon identifizierten Ansätzen – Internet of Things, Pervasive Computing, Ambient Computing, Context-aware Computing und Mobile Computing – wird in dem Beitrag ergänzend *Embodied Interaction*, bestehend aus *Tangible Computing* und *Social Computing*, als assoziiertes Forschungsgebiet ausgewiesen.

Die Tabelle 5 zeigt, dass Ubiquitous Computing, Pervasive Computing und Ambient Intelligence bzw. Computing von allen drei Publikationen als wichtige, wenngleich auch sich überschneidende Forschungsgebiete identifiziert wurden. Trotz ihrer zunehmend geringeren Popularität sollten sie daher Teil der nachfolgenden Tiefenanalyse sein.

	ZHAO UND WANG (2011)	OLSON ET AL. (2015)	TAKAYAMA (2017)
Semantic Web		X	
Ubiquitous Computing	X	X	X
System-of-Systems		X	
Pervasive Computing	X	X	X
Ambient Intelligence/Computing	X	X	X
Smart Environment/Space	X	X	
Web of Things		X	
Internet of Things		X	X
Real World Internet		X	
Digital Living		X	
Ubiquitous Web		X	
Mobile Computing	X		X
Context-aware Computing	X		X
Service Discovery	X		
Grid Computing	X		
Embodied Interaction			X

Tabelle 5: Übersicht über identifizierte Forschungsdomänen digitalisierter Produkte

Smart Environment, Internet of Things, Mobile Computing und Context-aware Computing wurden immerhin von zwei der drei Publikationen angeführt. Dabei ist Internet of Things, wie bereits skizziert, der zunehmend favorisierte Begriff und

weist z. B. gegenüber dem deutlich älteren Begriff Smart Environment bei Veröffentlichung des Beitrags von OLSON ET AL. (2015, S. 910) bereits fast vier Mal so viele Publikationen pro Jahr auf. Internet of Things sollte daher ebenfalls in der nachfolgenden Analyse berücksichtigt werden.

Auch wenn Mobile Computing und Context-aware Computing von OLSON ET AL. (2015) nicht identifiziert wurden, wurden beide Gebiete von dem zeitlich vor und nachgelagerten Analysen der anderen beiden Publikationen als wichtige Gebiete erfasst. Mobile und Context-aware Computing werden daher ebenfalls in der nachfolgenden Analyse berücksichtigt.

Anders sieht dies bei Smart Environment aus. Die nachfolgenden Erläuterungen zu den Forschungs- und Anwendungsdomänen werden zeigen, dass es sich bei Smart Environment um einen homonymen Begriff handelt, der je nach Kontext unterschiedliche Bedeutungen erfährt. Seine zugeordnete Konzepte lassen sich jedoch in den anderen Forschungs- und Anwendungsdomänen wiederfinden (z. B. bei Ubiquitous Computing oder Smart City). Daher wird Smart Environment nicht als eigenständige, zu analysierende Domäne betrachtet. Die mit dem Begriff assoziierten Konzepte werden allerdings in den anderen Domänen mitberücksichtigt und es wird entsprechend auf den Bezeichner bei Bedarf hingewiesen.

Semantic Web wurde zwar als zentraler, populärer Forschungsbereich identifiziert, jedoch als konzeptuelles Gegenstück zu Ubiquitous Computing eingeordnet. Im Zentrum der Betrachtung stehen jedoch keine realweltlichen, digitalisierten Objekte, sondern die Erweiterung des Webs, für z. B. Semantic Web Agents (Computerprogramme, die in der Lage sind, die Informationen im Web zu verstehen und zu manipulieren) (Olson et al. 2015, S. 889). Daher handelt es sich hierbei nicht um ein Synonym, Teilgebiet oder eine Weiterentwicklung der anderen Forschungsgebiete und wird in der Analyse nicht weiter berücksichtigt.

Die Begriffe bzw. Domänen System-of-System, Web of Things, Real World Internet, Digital Living, Ubiquitous Web, Service Discovery, Grid Computing und Embodied Interaction spielen in der Literatur eine eher untergeordnete Rolle und werden daher nicht in der nachfolgenden Analyse weiter vertieft. Das Konzept des Web of Things wird jedoch im Rahmen von Internet of Things noch einmal aufgegriffen. System-of-Systems wiederum stellt eine technologische Weiterentwicklung digitalisierter Produkte und keine eigene Domäne dar, wie sich in den nachfolgenden Kapiteln 3 und 4 zeigen wird.

In der nachfolgenden Analyse werden daher die folgenden Begriffe bzw. Forschungsdomänen näher betrachtet: *Ubiquitous Computing*, *Pervasive Computing*,

Internet of Things, Ambient Intelligence/Computing, Mobile Computing und Context-aware Computing.

2.2.1 Context-aware Computing

Im Gegensatz zum Begriff des Ubiquitous Computing, der bereits 1991 in der wissenschaftlichen Literatur geprägt wurde (vgl. Kapitel 2.2.2), wurde der Begriff *Context-aware Computing*⁴ erst 1994 durch SCHILIT UND THEIMER (1994) als solcher diskutiert (Dey 2001, S. 4; Poslad 2009, S. 213; Zhao und Wang 2011, S. 609). Doch wie sich in den nachfolgenden Ausführungen der anderen Konzepte zeigen wird, ist das mit Context-aware Computing bezeichnete Konzept Grundlage bzw. Kern für viele der anderen Konzepte, wie auch dem des Ubiquitous Computings, sodass die thematische Einführung in die verschiedenen Forschungsgebiete mit dem Context-aware Computing eröffnet wird.

Als SCHILIT UND THEIMER (1994, S. 22) den Begriff Context-aware Computing einführen, legen die Autoren den Fokus auf die Veränderung von Desktop-Computern hin zu mobilen Anwendungen bzw. Endgeräten. Kennzeichnend für diese Geräte sind eine häufige Veränderung der Ausführungsumgebung und die Nutzung von Umgebungsinformationen (eng. *Location Information*) zur Interaktion mit nahen Geräten und Services. Die Umgebungsinformationen sollen es Software erlauben, sich an die dynamische Ausführungsumgebung, Personen und Objekte im Umkreis sowie temporale Veränderungen bezogen auf diese Objekte anzupassen.

Context-aware Computing ist daher für SCHILIT UND THEIMER (1994, S. 23)

„the ability of a mobile user’s applications to discover and react to changes in the environment they are situated in.“

Das damit festgelegte Verständnis von Kontext und Context-aware Computing bleibt dabei jedoch an vielen Stellen vage: So ist bezogen auf den Kontext nicht geklärt, in welchem Umkreis Personen und Objekte zur Ausführungsumgebung zählen. Auch die Verantwortung über die automatisierte Erkennung und Reaktionen auf Veränderungen liegt allein bei der Software. Die Definition sieht damit keine Aufgabenaufteilung in Soft- und Hardware vor oder erlaubt neben der impliziten Kontexterfassung auch die explizite Eingabe von Kontextinformationen durch die Nutzer.

⁴ Ein alternativer Bezeichner für Context-aware Computing ist auch Context-aware Systems (Hong et al. 2009, S. 8509).

Im Laufe der Zeit fanden sich daher viele weitere verschiedene Definitionen und Verständnisse bezogen auf Kontext, Kontextinformationen und dem daraus resultierenden Context-aware Computing (Poslad 2009, S. 213). So schlägt beispielsweise DOURISH (2001, S. 234) vor, dass Kontext nicht nur aus dem lokalen und temporalen Kontext, sondern auch aus dem sozialen, kulturellen, organisationalen und interaktionalen Kontext bestehe. Im wissenschaftlichen Bereich fand vor allem der Artikel von DEY (2001) größere Beachtung (Zhao und Wang 2011, S. 603–605), der sich mit den Konzepten Kontext und Context-aware Computing auseinandersetzt⁵. Kontext wird dabei als Situationsinformation wie folgt verstanden:

„Context is any information that can be used to characterise the situation of an entity. An entity is a person, place, or object that is considered relevant to the interaction between a user and an application, including the user and applications themselves.“
(Dey 2001, S. 5)

Anders als bei der ursprünglichen Definition nach SCHILIT UND THEIMER (1994, S. 23) besteht Kontext hier sowohl aus impliziten als auch expliziten Informationen (Dey und Abowd 1999, o. S.). Auch die zugehörige Definition von Context-aware (Computing) unterscheidet sich in einigen zentralen Merkmalen von dem ursprünglichen Verständnis: So sehen die Autoren eine Aufgabentrennung von einerseits Kontextreaktionen durch kontext-sensitive Systeme und andererseits Kontexterkenntnis und Kontextinterpretation durch andere Entitäten vor. Auch sollen die Anwendungen nicht notwendigerweise Services automatisiert ausführen oder müssen den Kontext in Echtzeit erfassen können (Dey und Abowd 1999, o. S.). Ziel des Context-aware Computings ist stattdessen einen für die Aufgabe des Nutzers relevanten Service bzw. relevante Informationen anbieten zu können (Dey 2001, S. 5).

Bis heute existiert keine einheitliche Definition bzw. keine einheitliche Terminologie für das Context-aware Computing. Einerseits wird dies auf den Konflikt zweier philosophischer Ansätze, die Phänomenologie und der Positivismus, zurückgeführt (Alegre et al. 2016, S. 56–57) und andererseits auf verschiedene praktische Probleme der damaligen Umsetzung. So war es nicht nur eine Frage der quantitativen Sammlung von Kontextinformationen, sondern auch der sinnvollen Interpretation dieser bei gleichzeitiger Einhaltung von Privatsphäre-Aspekten, die eine ursprüng-

⁵ Es sei anzumerken, dass sich die angeführten Definitionen des Artikel von DEY (2001) bereits in früheren Werken des Autors wiederfinden wie z. B. in dem technischen Report von DEY UND ABOWD (1999). Der technische Report wurde dabei unter demselben Titel veröffentlicht, ebenso wie auch eine Panel-Diskussion im selben Jahr, an der die Autoren als Moderatoren mitwirkten, sowie ein weiterer Konferenzworkshopbeitrag der Autoren ein Jahr später. Im Gegensatz zu dem bekannten Artikel aus 2001 bieten die anderen Quellen allerdings ausführlichere Beispiele und Erklärungen zu den Definitionen.

liche Umsetzung erschwerten (Moran und Dourish 2001, S. 89). Auch die Erfassung der Daten von physikalisch verteilter Sensoren oder der notwendige Zugriff multipler Anwendungen auf diese stellten dabei neue Herausforderungen dar, die Context-aware-Systeme von bisherigen Informationssystemen unterschieden (Dey et al. 2001, S. 113).

Das ursprüngliche Konzept des Context-aware Computings sah darüber hinaus den Einsatz in physisch kleinen Bereichen vor (z. B. innerhalb eines Büros). Moderne technologische Entwicklungen wie das Global Positioning System (GPS) ermöglichen heute allerdings auch den Einsatz außerhalb von Räumen und Gebäuden (Subbu und Vasilakos 2017, S. 34–35).

Die Publikation von ALEGRE ET AL. (2016, S. 74–79) zeigt darüber hinaus, dass methodologische Ansätze für den Entwicklungsprozess von Context-aware-Systemen zum Teil nur Insellösungen darstellen. Ihnen fehlen teils zentrale Aspekte und sie unterstützen nicht alle Phasen des Entwicklungsprozesses, sodass Standards, einheitliche Konzepte und ein ganzheitlicher Ansatz für die Entwicklung von Systemen im Rahmen des Context-aware Computings fehlen.

Dabei überschneidet sich das Forschungsgebiet zunehmend mit anderen Gebieten wie aufgrund der Datenmengen und -vielfalt mit der Big-Data-Forschung (siehe SUBBU UND VASILAKOS (2017)). Gleichzeitig wird Context-aware Computing zunehmend auch innerhalb anderer Forschungsgebiete wie dem Ubiquitous oder Pervasive Computing diskutiert (Hong et al. 2009, S. 8511).

2.2.2 Ubiquitous Computing

Auch wenn es nicht eindeutig geklärt ist, wer den Begriff des *Ubiquitous Computing* (auch bekannt als *Calm Computing*, *Invisible Computing* oder *Disappearing Computing*) erstmalig verwendet hat, so wird sein Ursprung meistens in dem 1991 erschienen Artikel *„The computer for the twenty-first century“* von Mark Weiser gesehen. Dieser basiert auf den Erfahrungen und Projekten, die Weiser als Leitung einer Gruppe am Xerox PARC Ende der 80er gesammelt hatte (Friedewald 2008, S. 261–263; Takayama 2017, S. 557; Roth 2005, S. 4).

In dem Artikel beschreibt WEISER (1999, S. 3–7)⁶ seine Vorstellung des Ubiquitous Computings als ein allgegenwärtiges Netzwerk von Technologien, die durch physikalische Einbettung so sehr Teil des täglichen Lebens werden, dass sie im Hintergrund verschwinden. Auf diese Weise interferieren sie nicht mehr mit den

⁶ In Laufe der vorliegenden Arbeit wurde auf einen von zwei Reprints von Weisers ursprünglichen Artikel in der *Scientific American* Vol 265, No. 3 (September 1991), S. 94-104 zurückgegriffen

menschlichen Aktivitäten (Merkmal *Disappear*). Dadurch sollte es den Nutzern ermöglicht werden, ihre Konzentration und Fokus statt auf die Nutzung bzw. dem Bildschirm auf andere Ziele richten zu können. Ubiquitous Computing fokussierte sich demnach ursprünglich weniger auf die Verfügbarkeit der Computer (Merkmal *Everywhere*), sondern auf das Eingliedern in den Alltag und das Verschwinden im Hintergrund, um keine Barriere, für z. B. persönliche Interaktionen, darzustellen (Weiser 1999, S. 10; Friedewald et al. 2010, S. 36–37; Takayama 2017, S. 558–559).

Damit stellte die Idee des Ubiquitous Computing auch ein Paradigmenwechsel vom bis dato etablierten bzw. dominierenden *Personal Computing* dar (Friedewald et al. 2010, S. 33–35). Ziel des Ubiquitous Computings sollte die Aufgabenunterstützung des Menschen und die gesellschaftliche Durchdringung sein (Friedewald 2008, S. 264), wodurch „die Nutzung der Computertechnik nicht nur auf eine Gruppe von technisch versierten Nutzern beschränkt“ (Friedewald et al. 2010, S. 37) bleiben sollte. Der Mensch steht also beim Ubiquitous Computing im Zentrum der Betrachtung (Merkmal *Anthropozentrisch*) (Friedewald et al. 2010, S. 28; Ebling und Want 2017, S. 21).

WEISER (1999) umschrieb in seinem Artikel Ubiquitous Computing vor allem durch verschiedener Beispiele statt einer eindeutigen Definition. Daher kann im Folgenden nur Rückgriff auf Definitionen von anderen Autoren genommen werden. POSLAD (2009, S. 2) definiert beispielsweise auf der Grundlage von Weisers Ausführungen Ubiquitous Computing wie folgt:

„The term ‚ubiquitous‘, meaning appearing or existing everywhere, combined with computing to form the term Ubiquitous Computing (UbiCom) is used to describe ICT (Information and Communication Technology) systems that enable information and tasks to be made available everywhere, and to support intuitive human usage, appearing invisible to the user.“

Obwohl bei dieser Definition der *Everywhere*-Gedanke etwas mehr im Vordergrund steht, grenzt POSLAD (2009, S. 13) diese Definition später ein. Er weist darauf hin, dass es nicht das Ziel von Ubiquitous-Computing-Systemen ist, die globale Ubiquität durch Verknüpfung aller Systeme zu einer omnipräsenten Service-Domäne zu unterstützen. Vielmehr geht es beim Ubiquitous Computing um die Kontext-basierte Ubiquität. Hierdurch sollen u. a. Ressourceneinsparungen – und damit auch Kosteneinsparungen – möglich sein, nur nützliche Services angeboten werden und kein Informationsüberladung beim Nutzer entstehen (Poslad 2009, S. 13).

Zur Umsetzung seiner Vorstellung erachtete WEISER (1999, S. 5) es damals als notwendig, dass Ubiquitous-Computing-Technologien ihren eigenen physischen

Standort kennen, also den Nutzungskontext, sowie in verschiedenen Geräte-Größen/Formen bereitgestellt werden, die durch ein Netzwerk verbunden sein sollten (Weiser 1999, S. 7).

POSLAD (2009, S. 9) ergänzt die von Weiser geschilderten Kerncharakteristika – *Netzwerk, versteckte Mensch-Computer-Interaktion, Context-Awareness* – um Autonomie von Computern, damit diese ohne menschliches Eingreifen selbstverwaltend arbeiten können. Ebenfalls ergänzt er die Charakteristika um künstliche Intelligenz, damit eine Vielzahl dynamischer, ggf. auch unvollständiger oder nicht-deterministischer (Inter-)Aktionen (insbesondere auch im Unternehmenskontext) durch intelligente Entscheidungsunterstützung verwaltet werden können.

Dabei stimmt POSLAD (2009, S. 7-8, 13, 26-34) Weiser zu, dass die entsprechenden Systeme bzw. Geräte zur Umsetzung von Ubiquitous Computing in verschiedenen Größen und Formen kommen müssen. Aus Architektur-Sicht unterscheidet er dabei zwischen *Smart Devices, Smart Environment* und *Smart Interaction*, die sich hinsichtlich ihres Fokus bzgl. der Context-Awareness der physischen Umgebung (Nutzungskontext) unterscheiden (siehe Tabelle 6).

Geräte-Typ	Beschreibung
Smart Devices	stellen multifunktionale IT-Geräte mit Fokus auf die Interaktion innerhalb einer virtuellen Computer-Welt für einen spezifizierten Nutzer dar (z. B. Mobile Smart Devices, Smart Cards).
Smart Environments	bestehen aus einem Satz über ein Netzwerk verbundener Geräte (z. B. Sensoren, Controller, eingebettete Computer), die an die physische Welt angebunden sind und eine einzelne vordefinierte Aufgabe erfüllen sollen. Hierfür reagieren sie auf Nutzer-Interaktionen oder antizipieren diese (z. B. mittels Tagging oder Sensing).
Smart Interaction	fokussiert auf die Interaktion bzw. Interoperation verteilter Software-Services und Hardware-Ressourcen. Es ermöglicht damit die Interaktion zwischen Smart Devices und Smart Environments bzw. Ubiquitous-Computing-Anwendungen und ihrer Ubiquitous-Computing-Infrastruktur.

Tabelle 6: Geräte-Typen des Ubiquitous Computings

Quelle: in Anlehnung an Poslad (2009, S. 26–34)

Einige dieser Charakteristika sind heute durch modernere Technologien im Gegensatz zu Weisers Zeit umsetzbar, wie z. B. die Netzwerk-Unterstützung durch das Internet und kabellose Mobilfunk-Netzwerke (Poslad 2009, S. 10). Gleichzeitig sind einige durch diese Charakteristika erzeugte Herausforderungen, z. B. die Privatsphäre oder Integration der Anwendungen betreffend, teilweise immer noch problematisch (Friedewald et al. 2010, S. 39; Takayama 2017, S. 565; Ebling und Want 2017, S. 23).

Gleichzeitig konkurrieren die Konzepte auch untereinander: Smart Environments (oder auch Spaces) wie z. B. intelligente Konferenzräume sind teuer und aufwändig im Aufbau, wodurch deren technologischer Stand gewissermaßen eine Zeitlang fixiert ist. Mobile Geräte werden dagegen in der Regel durch einzelne Nutzer beschafft und können schneller ersetzt werden, sodass ein Smartphone ein Smart Whiteboard bzw. ein Smart Space schnell obsolet machen kann (Ebling und Want 2017, S. 22).

Dabei sind es allerdings nicht nur technologische Problemstellungen, die das Ubiquitous-Computing-Konzept aufweist, sondern auch Fragen in Bezug auf die Wirklichkeitsentstehung (individuelle Wirklichkeitskonstruktion oder vorstrukturierter Kontext) und den Einfluss auf das Nutzerverhalten. Die Schaffung einer ‚intelligenten‘ Umgebung, die durch das Internet oder ‚intelligente‘ Gegenstände zu einer neuen Öffentlichkeit werden kann, kann auch zu Verhaltensänderungen der Nutzer führen, die sich z. B. in Selbstdisziplinierung oder Selbstinszenierung äußern kann. Ferner ist dabei zu beachten, dass die Informationen und der Handlungs- und Erfahrungsraum der intelligenten Umgebung durch Dritte vorab antizipiert, interpretiert, strukturiert und bewertet werden muss (Friedewald 2008, S. 274–276).

Das von Weiser damals angestrebte primäre Ziel des in den Hintergrund Verschwindens und damit einhergehende Ideen und philosophische Ansätze sind jedoch in den aktuellen Ubiquitous-Computing-Technologien eher weniger manifestiert. Fortschritte durch eingebettete Mikroprozessoren, z. B. in Fernsehern oder Mobiltelefonen, ermöglichen zwar die Ubiquität der Rechenleistung (Friedewald 2008, S. 265–266), aber Technologien wie Smartphones ziehen zunehmend die Aufmerksamkeit ihrer Nutzer auf sich (Takayama 2017, S. 565). FRIEDEWALD (2008, S. 266) merkt hierzu an, dass es *„zweifelhaft bleibt, ob das Verschwinden des Computers in den Hintergrund überhaupt von den Nutzern gewünscht ist“*. Überdies stellt Werbung die Grundlage vieler Geschäftsmodelle in diesem Produktbereich dar, dessen Ziel gerade die Erlangung der Aufmerksamkeit der Nutzer ist und damit konfliktär dem Ziel des Ubiquitous Computings gegenübersteht (Ebling und Want 2017, S. 21).

Mittlerweile haben sich zahlreiche Domänen gebildet – allen voran das Internet of Things, Pervasive Computing oder Ambient Computing – die zwar konzeptuelle Überschneidungen zum Ubiquitous Computing aufweisen (Olson et al. 2015, S. 896–898), aber nur partiell Weisers Ideen widerspiegeln (Takayama 2017, S. 566; Poslad 2009, S. 17–18). Seine Verwendung findet der Begriff dennoch

disziplinübergreifend, aber trotz seines amerikanischen Ursprungs vor allem in Publikationen originär aus Asien und Europa (Olson et al. 2015, S. 903–911).

Es existiert keine Definition, die alle Charakteristika von Ubiquitous Computing widerspiegelt (Poslad 2009, S. 35). Es scheint folglich, als wäre Ubiquitous Computing eher ein übergeordnetes, teils technologisches, teils philosophisches Konstrukt, dem verschiedene Subdomänen zugeordnet werden können. Seine Ursprungsidee hat aber noch keine konkrete Umsetzung in seiner Gänze gefunden. Es ist daher eher als Leitbild bzw. Vision für die anderen Domänen zu verstehen.

Die in den nachfolgenden Kapiteln durchgeführte Abgrenzung zu Pervasive und Mobile Computing wird überdies zeigen, dass moderne Verständnisse des Ubiquitous Computings zunehmend durch den Everywhere-Gedanken in Form von Mobilität geprägt sind. Allerdings sah das ursprüngliche Verständnis nach Weiser zwar allgegenwärtige Verfügbarkeit von Informationen vor, aber nicht im Sinne des Mobilitätsverständnisses des Mobile Computings (Streitz und Privat 2009, S. 60–4).

2.2.3 Pervasive Computing

Nachfolgend zu Ubiquitous Computing hat sich ebenfalls in den 90er Jahren der Ansatz des Pervasive Computings entwickelt. Während Ubiquitous Computing eher im wissenschaftlichen Bereich als Begriff und Konzept geprägt wurde (vgl. hierzu auch Kapitel 2.2.3), hat Pervasive Computing seinen Ursprung – aufgrund eines Projekts der Firma IBM – im industriellen Bereich. Wie auch bei Ubiquitous Computing geht es beim Pervasive Computing um die allgegenwärtig (jederzeit und überall) stattfindende Informationsverarbeitung auf Basis eines verteilten Netzwerks mit unterschiedlichen Geräten. Ziel hierbei war jedoch die kurzfristige Nutzbarkeit durch Zuhilfenahme von vorhandenen Mobile-Computing-Technologien. Der Fokus lag daher auf E-Commerce und Web-basierten Geschäftsprozessen (Friedewald 2008, S. 267–268; Olson et al. 2015, S. 888).

Obwohl Pervasive Computing damit eher dem Mobile/Nomadic Computing (vgl. nachfolgendes Kapitel 2.2.4) gleicht (Friedewald 2008, S. 268), wird das Konzept heute eher von Mobile/Nomadic Computing abgegrenzt und stattdessen mit Ubiquitous Computing gleichgesetzt. Dabei existiert eine sehr große Überschneidung der beiden konzeptuellen Ansätze – Pervasive Computing und Ubiquitous Computing – in der Literatur, auch im Vergleich zu anderen verwandten Ansätzen. Pervasive Computing weist allerdings eher einen Fokus auf technologische Fragestellungen auf statt auf eine Vision, wie dies bei Ubiquitous Computing der Fall ist (Olson et al. 2015, S. 888–894). Einige einflussreiche Arbeiten des Pervasive Computing, wie SATYANARAYANAN (2001, S. 10), setzen beide Konzepte sogar faktisch

gleich, wobei Pervasive Computing als der moderne Bezeichner kategorisiert wird, der sich von der abstrakten Ubiquitous Vision durch Fokus auf technische Herausforderungen abgrenzt und damit eine Weiterentwicklung darstellen soll (Ebling und Want 2017, S. 20).

Eine Studie des Bundesamts für Sicherheit (BSI) ordnet Pervasive Computing ebenfalls als den moderneren Bezeichner mit technologischem Fokus ein, bezieht sich dabei aber wieder auf die ursprüngliche Idee der kurzfristigen Umsetzbarkeit (Gabriel et al. 2006, S. 10). Dabei beschreibt die BSI-Studie Merkmale von Pervasive Computing, die gleichzeitig bereits als zentrale Aspekte von Ubiquitous Computing identifiziert worden sind (vgl. Kapitel 2.2.1) und damit keine Merkmale eines neuen Konzeptes darstellen: *Miniaturisierung, Einbettung in Alltagsgegenstände, Vernetzung, Allgegenwärtigkeit und Kontextsensitivität durch Sensoren und Kommunikation der IuK-Komponenten* (Gabriel et al. 2006, S. 10–11). Lediglich die Einbettung in Alltagsgegenständen wurde im ursprünglichen Ubiquitous-Computing-Konzept nach Weiser so nicht explizit vorgesehen. Dieser Aspekt findet sich allerdings im nachfolgenden Internet-of-Things-Ansatz (vgl. Kapitel 2.2.6) erneut wieder.

Eine ausführliche Differenzierung von Ubiquitous Computing und Pervasive Computing findet in der Literatur allerdings eher selten statt. Eine der wenigen ausführlicheren Abgrenzungen bieten LYYTINEN UND YOO (2002a, S. 63–64): Ubiquitous Computing wird hier als Integration von Mobile Computing und Pervasive Computing verstanden und stellt dadurch das übergeordnete Konzept dar. Mobile Computing wird als ortsunabhängige, durch physikalisch tragbare Geräte immer präsente Verfügbarkeit von Computer-Services ohne Kontextinformationen verstanden. Pervasive Computing wiederum als Konzept zur reziproken Interaktion mit und in Abhängigkeit von der Umgebung, wodurch entsprechende Kontextinformationen gewonnen werden können. Aufgrund des Design- und Implementierungsaufwandes stellt Pervasive Computing allerdings nur ein begrenztes, lokales Angebot dar.

Zu einer ähnlichen Abgrenzung gelangen auch Avital, Robey, Sawyer und Sorensen im Rahmen eines Ubiquitous-Computing-Workshops, wobei hier der Begriff des Mobile Computings durch den des Nomadic Computings ausgedrückt wird:

„The ubiquitous modifier of computing has been used interchangeably to denote both nomadic and pervasive computing. Whereas nomadic refers to the act of being mobile and to portability of computing, pervasive refers to the broadly accessible and increasingly-seamless embedding of computing into the environment.” (Lyytinen et al. 2004, S. 708)⁷

Pervasive Computing wird demnach trotz seines anderen Ursprungs heute entweder gleichgesetzt mit der ursprünglich konzeptionellen Idee des Ubiquitous Computing oder als Teilkonzept eines um Mobilität als zentrale Komponente erweiterten Ubiquitous-Computing-Verständnisses eingeordnet. In beiden Fällen wird Pervasive Computing heute – entgegen seinem Ursprung – der Idee des Mobile Computing gegenübergestellt und von diesem abgegrenzt. Weiterhin wird Pervasive Computing in vereinzelt Fällen ein Technologiefokus zugeschrieben, der im Gegensatz zu dem Visionsfokus des Ubiquitous Computings steht (vgl. Kapitel 2.2.1). Ferner existieren Konferenzen, Journals, etc. für beide Ansätze (Olson et al. 2015, S. 888).

HERTERICH UND MIKUSZ (2016, S. 4–7) fassen letztendlich beide Konzepte in ihrer Analyse von Forschungsströmen digitalisierter Produkte als einen Forschungsstrom zusammen, der das früheste Verständnis digitalisierter Produkte wieder spiegelt (siehe auch Kapitel 1.2).

2.2.4 Mobile und Nomadic Computing

Mobile Computing wird heute oft dem Konzept des Pervasive Computing gegenübergestellt und dem Ansatz des Ubiquitous Computing untergeordnet (siehe Kapitel 2.2.3). Einige Forschungspublikationen nutzen alle drei Begriffe allerdings auch synonym, was unter anderem darin begründet werden kann, dass alle drei Konzepte zunehmend eine Vereinigung in mobilen Geräten (z. B. Smartphones, Tablets) finden (Fischer und Smolnik 2013, S. 1089).

Dabei geht es beim Mobile Computing um den physikalisch ortsunabhängigen Zugriff auf Computer-Services. Das Konzept zeichnet sich dementsprechend durch ein hohes Level an Mobilität und einem geringen Level an Einbettung aus (Lyytinen und Yoo 2002a, S. 63–64). Somit liegt der Fokus des Konzepts auf den Hardware-Eigenschaften, die sich aus den physikalischen Einschränkungen ergeben, und steht damit im Gegensatz zu dem Fokus auf Software-Eigenschaften von Services des Pervasive Computings (vgl. auch Kapitel 2.2.3) (Aarts und Ruyter 2009, S. 6).

⁷ In der Workshop-Niederschrift ist allerdings nicht ersichtlich, inwieweit der zuvor erwähnte Artikel von LYYTINEN UND YOO (2002a) Einfluss in die Abgrenzung gefunden hat, unter der Berücksichtigung, dass beide Autoren Konferenz-Organisatoren waren und damit indirekt auch Einfluss auf die Abgrenzung genommen haben könnten.

In den 1990er Jahren wurde parallel zum Mobile Computing wegen zunehmender nomadischer Arbeitsformen auch der Begriff des *Nomadic Computing* durch Leonard Kleinrock bekannt und geprägt (Friedewald 2008, S. 266). Dabei fokussierte Nomadic Computing auf die benötigte Systemunterstützung für zahlreiche Rechen-, Kommunikations- und Speicher-Funktionalitäten, auf die ein Nomade – sowohl während des Transits als auch am Zielort – Zugriff benötigt. Als Kerncharakteristika des Konzepts wurden die Unabhängigkeit von Ort, Bewegung, Plattform, Gerät, Kommunikations-Bandbreite und dem weitestgehend flächendeckenden Fernzugriff auf Dateien, Systemen und Services gesehen (Kleinrock 1995, S. 36–37; 1997, S. 12).

Wie beim Mobile Computing liegt beim Nomadic Computing der Fokus nicht auf der Einbettung der Geräte (vgl. z. B. Ubiquitous Computing), sondern auf der Mobilität, also der physikalischen Bewegung des Computers bzw. dem mobilen Zugriff auf bestimmte Services (Friedewald 2008, S. 267).

Heute findet sich der Begriff des Nomadic Computing eher seltener in der Literatur und scheint wegen seiner inhaltlichen Übereinstimmung durch den Begriff des Mobile Computings subsumiert worden zu sein. ROTH (2005, S. 4–5) beispielsweise sieht einen Unterschied zwischen Mobile und Nomadic Computing auch nur darin, dass Nomadic Computing noch mehr „den Schwerpunkt auf die Mobilität des Anwenders [legt], während Mobile Computing auch Probleme behandelt, die sich am Zielort nach einer Reise ergeben“. Nach dieser Auffassung wäre Mobile Computing der umfassendere Begriff, aber weitestgehend identisch mit dem des Nomadic Computing.

Noch unter dem Begriff des Nomadic Computing identifizieren LYTTINEN UND YOO (2002b, S. 378–379) drei Kerntreiber von Mobile Computing, die die Differenzierung zu traditionellen Informationssystemen verdeutlichen und Einfluss auf Infrastruktur und Services nehmen (siehe Tabelle 7).

Kerntreiber	Beschreibung
Mobility	Services sind überall und jederzeit über verschiedene Geräte hinweg verfügbar.
Digital Convergence	Verschiedene Datentypen können über verschiedene Kommunikationswegen auf multiplen Geräten verarbeitet, integriert dargestellt und zwischen Geräten ausgetauscht werden.
Mass Scale	Globale Verfügbarkeit der entsprechend notwendigen Umgebung und dadurch Erhöhung des Services-Volumens, der Service-Typen und der Anzahl an Nutzern.

Tabelle 7: Kerntreiber des Mobile Computings

Quelle: in Anlehnung an Lyytinen und Yoo (2002b, S. 378–379)

Während einige Aspekte der Kerntreiber damals noch eher theoretische Überlegungen darstellten, sind heute mobile Anwendungen *on-demand* und *on-the-go*

im privaten Bereich und im Geschäftsbereich verfügbar, wodurch sich ganze Arbeitsplätze und -situationen verändert haben. Die Verbreitung geschah dabei nicht nur im großen Umfang, sondern auch mit einer hohen Geschwindigkeit, die noch immer Herausforderungen – vor allem in Bezug auf die Sicherheit und Privatsphäre – darstellen (Ladd et al. 2010, S. 286).

Der (freiwillige oder vorgeschriebene) Gebrauch mobiler Geräte hat mittlerweile zu Überschneidung von individuellem, organisationalem und sozialem Kontext geführt. Daher liegt der Fokus der Forschungsliteratur auch auf Kontext bzw. Context-awareness als moderierenden Faktor für Mobile Computing. Trotz der Überschneidungen werden jedoch der Arbeitskontext und der Privatkontext häufig als getrennte Bereiche betrachtet, statt integrierte Effekte zu berücksichtigen. (Fischer und Smolnik 2013, S. 1086–1088).

Darüber hinaus fokussiert sich die Literatur zumeist auf technologische Aspekte und nimmt dabei die Sicht von Mobile-Computing-Service-Anbieter (*Business Market Performance*) ein, statt sich damit auseinanderzusetzen, wie Mobile Computing zum Geschäftserfolg innerhalb eines Unternehmens führt (*Business Value Chain-Perspective*) (Ladd et al. 2010, S. 291–294).

2.2.5 Ambient Intelligence und Ambient-assisted Living

Als Begriff wurde *Ambient Intelligence* 1998 im Rahmen einer Reihe von internen Workshops des Unternehmens Philips und unter Mitwirkung des Beraterunternehmens Palo Alto Ventures etabliert. Die öffentliche Vorstellung folgte 1999 auf einer Konferenz und innerhalb einer Publikation des Konzeptes in einer niederländischen IT-Zeitschrift im selben Jahr. Seine Verbreitung und Popularität im europäischen Raum erlangte Ambient Intelligence allerdings vor allem durch die *European Union's Information Society Technologies Advisory Group* (ISTAG) der Europäischen Kommission (Aarts und Encarnaçao 2006, S. 6–7; Friedewald 2008, S. 268–269; Streit 2017, S. 2).

Das Konzept wurde dabei verstanden als „*visionäre Beschreibung einer technologischen Entwicklung, bei der Informations- und Kommunikationssysteme in die Umwelt des Nutzers eingebettet sind und diesen aus dem Hintergrund auf vielfältige Weise individuell unterstützen*“ (Bick und Kummer 2010, S. 311). Die Vision sollte demnach auf den drei Schlüsselkonzepten *Ubiquitous Computing*, *Ubiquitous Communication* und *Intelligent User Friendly Interfaces* aufbauen mit dem Mensch, seinen Bedürfnissen und seiner Persönlichkeit im Zentrum der Betrachtung (ISTAG 1999, S. 3).

Dadurch wurde Ambient Intelligence zu einem für die Jahre 2002 bis 2006 wichtigen, europäischen Forschungsschwerpunkt, dessen Ziel es war „die Wettbewerbsfähigkeit des europäischen Wirtschaftsraums [zu] fördern, den Übergang zu einer dynamischen Wissensgesellschaft [zu] unterstützen und dabei auf die gesellschaftlichen Bedürfnisse [zu] reagieren und insbesondere die soziale Kohäsion [zu] fördern“ (Friedewald 2008, S. 269).

Da sie es nicht als notwendig erachteten, veröffentlichte die ISTAG allerdings keine eigene Definition von Ambient Intelligence, sondern beschrieben lediglich zentrale Merkmale des Konzepts (siehe Tabelle 8) (ISTAG 2005, S. 47). Dadurch bildeten sich in der nachfolgend erschienen Literatur zahlreiche Definitionen mit unterschiedlichem Schwerpunkten heraus (Bick und Kummer 2010, S. 311–312).

Merkmale	Erläuterung
Benutzerfreundlich	Einfache und intuitive Bedienung, die auch auf Gesten und Sprache reagiert.
Intelligent	Hohe analytische Kompetenz, die eine zielgerichtete und flexible Unterstützung ermöglicht.
Eingebettet	Das System ergibt sich aus einer Vielzahl von Komponenten, die in die Umgebung des Nutzers integriert sind.
Individualisierbar	Der Nutzer kann das System anhand seiner persönlichen Bedürfnisse anpassen.
Adaptiv	Die Bestandteile des Systems können in Abhängigkeit der Bedürfnisse variieren.
Unauffällig	Die Systembestandteile sind nicht direkt sichtbar, sondern unterstützen aus dem Hintergrund heraus.

Tabelle 8: Zentrale Merkmale ambienter Systeme

Quelle: nach ISTAG (1999, S. 3–4; 2000, S. 3; 2005, S. 47) in BICK UND KUMMER (2010, S. 312)⁸

Die Merkmale *Eingebettet* und *Unauffällig* verdeutlichen die bereits erwähnte konzeptuelle Grundlage des Ubiquitous Computing: Auch das Ubiquitous Computing verfolgt mit der physikalischen Einbettung eines technologischen Netzwerks zur Aufgabenunterstützung und gleichzeitigem Verschwinden von diesem im Hintergrund denselben Ansatz (vgl. Kapitel 2.2.2).

Es lassen sich jedoch die folgenden Alleinstellungsmerkmale des Ambient Intelligence gegenüber dem Ubiquitous Computing identifizieren (Friedewald 2008, S. 269–270; Bick und Kummer 2010, S. 311; Streit 2017, S. 2):

⁸ Bick und Kummer beziehen sich bei Ihren Angaben nur auf die ISTAG Quelle von 1999, obwohl es sich hierbei nur um einen Draft handelt, während die 2000er Quelle die eigentliche Veröffentlichung darstellt. Daher wurden hier beide Quellen angegeben. Außerdem verweisen Bick und Kummer nicht auf die ISTAG 2005 Quelle, sondern auf eine Quelle aus 2003. Bei der 2005er Quelle handelt es sich um einen Reprint der 2003er Quelle, die hier genutzt wurde, da die 2003er Quelle nicht mehr verfügbar war. Die Seitenangaben bei den ISTAG-Quellen fehlten bei Bick und Kummer und wurden nachträglich ermittelt.

- *KI-Einsatz*: intelligente Interaktion durch den Einsatz von künstlicher, analytischer Intelligenz;
- *Vision*: ein noch mehr visionär geprägten Charakter als dies bei Ubiquitous Computing der Fall ist;
- *Sozialer-Fokus*: eine noch größere Fokussierung auf den Menschen mit seinen Bedürfnissen und seiner sozialen Situation;
- *Unbestimmte Interaktion*: ein nicht festgelegtes Interaktions- oder Nutzungsparadigma.

Daher wird Ambient Intelligence grundsätzlich als Weiterentwicklung von Ubiquitous Computing verstanden (Bick und Kummer 2010, S. 311). Betrachtet man allerdings den aktuellen Forschungsstand um Ubiquitous Computing, findet man in neueren Definitionen durchaus künstliche Intelligenz als Merkmal und die Einstufung von Ubiquitous Computing als Paradigma (vgl. Kapitel 2.2.2). Daher entfallen die Alleinstellungsmerkmale des Einsatzes künstlicher Intelligenz und dem visionären statt technologischen Charakter zunehmend.

Weniger aus den Charakteristika ergibt sich die Überschneidung von Ambient Intelligence mit den frühen Konzepten des Pervasive und Mobile Computings (ISTAG 2000, S. 1; Aarts und Ruyter 2009, S. 5–6). Dabei baut Ambient Intelligence auf den Grundlagen von Mobile-Computing-Infrastrukturen auf, unterscheidet sich von dem Konzept allerdings um die umgebungsabhängige Kommunikation. Ambient Intelligence vereint in diesem Punkt die Konzepte *Embedded Computing* und *Mobile Computing* miteinander. Unter Embedded Computing wird die direkte, von Human Interface Devices unabhängige Interaktion mit der physischen Umgebung durch Sensoren und Aktuatoren verstanden. Wobei Ambient Intelligence mehr ist als *Location-aware Mobile Computing*, da hierbei nicht nur die Umgebung der Nutzer berücksichtigt wird, sondern z. B. auch ihre Aktivitäten oder ihre Position innerhalb der Umgebung. Darüber hinaus sollen Nutzer von einem einzigen Do-it-all-Gerät wie z. B. ein Smartphone des Mobile Computings losgelöst werden (Streitz und Privat 2009, S. 60-10).

Das zentrale Unterscheidungsmerkmal zu allen anderen Ansätzen ist allerdings die Betonung des Menschen, seiner Bedürfnisse und seiner sozialen Situation, wodurch sich ein Nutzer- und Szenario-orientierter Ansatz (*Innovations by User-pull*) im Gegensatz zu den eher Technologie-orientierten Ansätzen (*Innovations by Technology-push*) ergibt (Aarts und Encarnação 2006, S. 11). Dies drückt sich in den Kern-Charakteristika von Ambient Intelligenz durch intelligente Personenerkennung, Personalisierung und (automatisierte) Adaption an die Bedürfnisse der

Benutzer (vgl. auch Tabelle 8) durch die intelligente Umgebung aus (Aarts und Ruyter 2009, S. 6).

Daher unterscheiden AARTS UND RUYTER (2009, S. 8–9) in Bezug auf künstliche Intelligenz zwischen einer *System-Intelligenz* (Context-aware, Personalized, Adaptive, Anticipatory) und einer *Sozialen-Intelligenz* (Socialized, Empathic, Conscious), die eine Vereinigung in einem modernen Verständnis des Ambient Computings erfahren sollen.

Durch die Überschneidung mit den anderen Konzepten steht Ambient Intelligence vor denselben Fragestellungen bzw. Herausforderungen: So müssen z. B. Aspekte der Privatsphäre bei der Konzeptualisierung berücksichtigt werden. Die Geräte sollen aufmerksam, aber nicht aufdringlich gestaltet werden können. Und es muss geklärt werden, wie Kontext- und Inhaltsinformationen zielgerichtet verknüpft werden können (Streitz und Privat 2009, S. 60-13).

Neben dem Begriff des Ambient Intelligence, der sowohl im internationalen als auch im europäischen Kontext Gebrauch findet, findet sich in der Literatur vereinzelt auch *Ambient Computing* oder *Ambient Assisted Living* als Bezeichner wieder. Ambient Assisted Living scheint vor allem, wie schon Ambient Intelligence selbst, durch verschiedene Initiativen sowie Bundes- und EU-Förderprogramme an Popularität gewonnen zu haben (Bick und Kummer 2010, S. 311). Der Ansatz fokussiert dabei auf die Bedürfnisse der älteren Generation mit dem Ziel, dass diese, unterstützt durch intelligente Produkte und Services, selbstbestimmt länger in ihrem eigenen Zuhause leben können, um dadurch u. a. auch Sozialbeiträge zu reduzieren (Streitz und Privat 2009, S. 60-4).

2.2.6 Internet of Things, Web of Things und Cyber-physical Systems

Der Begriffsursprung des *Internet of Things* (IoT) wird in der Literatur einer Präsentation bei Procter & Gamble 1999 durch Kevin Ashton zugeschrieben. In dieser wurde demnach erstmalig IoT als Begriff zur Bezeichnung der Verbindung der drei Konzepte Radio-frequency Identification (RFID), Procter & Gambles Supply Chain und das Internet benutzt (Ashton 2009; Olson et al. 2015, S. 890; Mishra et al. 2016, S. 1332–1333).

Der Begriff hat seit damals zahlreiche Neudefinitionen erfahren, sowohl seitens einzelner Wissenschaftler wie auch durch verschiedene Institutionen und Forschungsprogramme. Am bekanntesten sind hierbei die Definitionen der International Telecommunication Union von 2005 (ITU 2005), der *Internet of Things Strategic Research Roadmap* der European Commission von 2009 (Vermesan et

al. 2009, o. S.) und von ATZORI ET AL. (2010). Dabei wird und wurde der Begriff auch häufig als reines Schlagwort missbraucht (Borgia 2014, S. 3–4; Yan et al. 2015, S. 1286; Atzori et al. 2017, S. 135; Lu et al. 2018, S. 286).

Die meisten Definitionen fokussieren sich allerdings oft nur auf eine von drei IoT-Perspektiven: die *Internet*-orientierte Perspektive, die *Objekt*-orientierte Perspektive oder die *semantisch*-orientierte Perspektive (Atzori et al. 2010, S. 2788). Eine ganzheitliche Betrachtung findet daher eher selten statt.

Von Anfang an wurde der Begriff zudem direkt mit konkreten Technologien verknüpft, wodurch er bis heute eine starke Technologienähe aufweist, so gesehen auch an den populärsten Keywords bei wissenschaftlichen IoT-Publikationen (z. B. *RFID* oder *Wireless Sensor Networks*) (Yan et al. 2015, S. 1291; Mishra et al. 2016, S. 1339). Dadurch ist der IoT-Begriff selbst aber auch den gleichen temporalen Veränderungen unterworfen, wie die sich rasch verändernden Technologien (Mishra et al. 2016, S. 1332–1333; Atzori et al. 2017, S. 134).

ATZORI ET AL. (2017, S. 126–134) können dennoch trotz des eher kurzen Zeithorizonts bereits drei IoT-Generationen unterscheiden, die ebenfalls die Technologienähe des Konzepts verdeutlichen:

1. *Generation*: Identifizierung und Markierung von Objekten mittels kosten effektiven Technologien wie RFID;
2. *Generation*: Verbindung von Objekten mithilfe von (sozialen) Web-Technologien (z. B. Internet Protocol);
3. *Generation*: Nutzung von Cloud-Computing-Technologien, sozialen Objekten und semantische Datendarstellungsmöglichkeiten, die Personen-, Inhalts- und Service-zentriert sind.

Des Weiteren weisen viele IoT-Definitionen sechs Gemeinsamkeiten auf, die jedoch selten alle gleichzeitig in den konkreten IoT-Lösungen umgesetzt sind (Atzori et al. 2017, S. 135–136; Lu et al. 2018, S. 286):

- eine *globale Netzwerk-Infrastruktur* zur Vermeidung isolierter Intranet of Things, die Interoperabilität, Integration und Adressierung der IoT-Elemente ermöglicht;
- *Alltagsgegenstände* und nicht nur IT-Geräte als zentrale IoT-Objekte;
- *Selbstverwaltung* (Self-Governance/Autonomy) und *Selbstorganisation* (Self-Management/Autonomicity) der Objekte;
- *effektive* (besser noch *intelligente*) *Interfaces* für die Interaktion zwischen Menschen und Objekten sowie zwischen den Objekten;
- die Möglichkeit der *Koexistenz heterogener Technologien*;

- mit den Objekten assoziierte *Services*.

LU ET AL. (2018, S. 286) ergänzt überdies noch „*the spanning of time, space, and paths*“ als Gemeinsamkeit.

Die Diskussion eines Blogbeitrags von TOPLUS (2010) ergänzend, legen UCKELMANN ET AL. (2011, S. 5–8) zudem fest, was IoT nicht ist: IoT ist nicht mit Ubiquitous Computing, Pervasive Computing oder dem Internet Protocol (IP) gleichzusetzen. Es ist keine reine Kommunikationstechnologie, kein eingebettetes Gerät und keine Applikation. Es ist ebenfalls nicht das *Internet of People* und nicht das *Intranet* oder *Extranet of Things*. Es kombiniert allerdings Aspekte und Technologien von all diesen Ansätzen. Als Abgrenzung zu Ubiquitous Computing und Pervasive Computing wird darauf hingewiesen, dass Ubiquitous und Pervasive Computing nicht notwendigerweise eine globale Internetinfrastruktur zur Umsetzung benötigen und nicht notwendigerweise die Nutzung von Dingen implizieren.

Letzterer Punkt wird deutlich, wenn man sich die identifizierten Gemeinsamkeiten von ATZORI ET AL. (2017, S. 135–136) näher betrachtet, die explizit Alltagsgegenstände als Betrachtungsgegenstand von IoT und nicht reine IT-Geräte festlegen. Damit wird sich auch von den zu Beginn von IoT eng verbundenen Konzept der RFIDs gelöst. BORGIA (2014, S. 2) geht hier sogar weiter und schließt neben den realen/physischen Objekten auch virtuelle/digitale Entitäten mit ein. Sie verweist außerdem auf den intelligenten bzw. smarten Charakter, den diese Gegenstände zunehmend aufweisen.

Mahadev Satyanarayanan als Experte für den Bereich Pervasive Computing wiederum sieht in einem Interview den grundsätzlichen Unterschied zwischen IoT und Pervasive bzw. Ubiquitous Computing in der Rolle des Menschen, der bei Pervasive bzw. Ubiquitous Computing im Zentrum der Vision steht, bei IoT aber – wie auch an den Gemeinsamkeiten der IoT-Definition und den bisherigen Generationen zu erkennen – unberücksichtigt bleibt (Ebling und Want 2017, S. 21).

Dass der Mensch aber z. B. als aktiver oder passiver Inputgeber ein nicht ganz zu übersehender Einflussfaktor für das IoT darstellt, sah Tim O'Reilly bereits 2014 und beschrieb IoT als variierende Kombinationen aus *Mensch + Netzwerk + Aktuator oder Sensor + Netzwerk*, die er auch als *Internet of Things and Humans* bezeichnete. Er geht dabei auch darauf ein, dass die Nutzererfahrung ein wichtiger Aspekt für den Erfolg darstellt und durch die Berücksichtigung des Menschen als Teil des Konzepts Bedeutung erlangt. Er verweist auch darauf, dass in frühen Entwicklungsstadien von smarten Produkten der Nutzer oft noch Produkt-Aufgaben übernimmt, die erst später durch die Software vollständig übernommen werden

(können) und allein dadurch der Mensch in der Konzeptualisierung berücksichtigt werden muss (O'Reilly 2014).

Ein weiterer ähnlich klingender Ansatz ist der des *Internet of Everything*, der vor allem durch das Unternehmen Cisco geprägt wurde. Bei diesem konzeptuell erweiterten IoT-Ansatz sollen Menschen, Prozesse, Daten und Dinge miteinander verbunden und dadurch Teil der gesamten Netzwerkinfrastruktur werden. Allerdings wird der Mensch hierbei eher als Knotenpunkt verstanden, sodass es sich auch hier nicht unbedingt um einen Menschen-zentrierten-Ansatz handelt, der den Menschen und seine soziale Situation berücksichtigt, wie dies z. B. bei Ambient Intelligence der Fall ist (Streitz 2017, S. 3; Evans 2012).

Das Konzept des *Web of Things* wurde zu Beginn von der Analyse grundsätzlich ausgeschlossen. Es soll hier dennoch kurz Erwähnung finden, da es oft in den entsprechenden IoT-Publikationen mitangeführt wird und auf ein weiteres grundsätzliches Problem des IoT-Konzepts hinweist:

Das Web of Things stellt eine Erweiterung des IoT-Konzepts dar, das die Interoperabilitäts-Probleme des IoT-Konzepts adressiert. Die zunehmenden Anzahl an IoT-Geräten bzw. IoT-Hardware-Software-Technologien haben zu einer Fragmentation auf dem Markt geführt. Im Rahmen des Web of Things sollen existierende und etablierte Web-Standards und Web-Technologien die Kommunikation smarterer Dinge ermöglichen und dadurch ihre Zugänglichkeit und die Möglichkeit neue Applikationen und Services zu erstellen verbessern. Mittlerweile existieren allerdings auch hierfür verschiedene Zweige und Spezialisierungen wie das *Social Web of Things* oder das *Semantic Web of Things* (Sciullo et al. 2022, S. 47570–47572).

IoT wird darüber hinaus auch oft in Zusammenhang mit dem ungefähr seit 2006 auftretenden Begriff des *Cyber-physical Systems* (CPS) in Verbindung gebracht bzw. teilweise gleichgesetzt. Ähnlich wie bei IoT selbst, existiert für CPS jedoch keine eindeutige Definition und wird neben IoT auch teilweise synonym mit z. B. Service Systemen, System-of-Systems oder Industrie 4.0 verwendet. Grundsätzlich findet der Begriff derzeit jedoch vermehrt Anwendung im Bereich der Computer-Science-Literatur und weniger im Bereich der Information Systems bzw. Wirtschaftsinformatik (Gunes et al. 2014, S. 4246–4248; Lee 2015, S. 4838; Martin et al. 2019, S. 20–27).

ATZORI ET AL. (2017, S. 136) versteht CPS als technologisches Framework, dem – genauso wie Ubiquitous und Pervasive Computing – jedoch das IoT-Merkmal der globalen Netzwerkinfrastruktur fehlt. Für BORGIA (2014, S. 1) ist IoT dagegen ein Teilbereich von CPS und wird von ihr sowohl als CPS-Technologie als auch als Paradigma bezeichnet. CPS wäre demnach der übergeordnete Begriff und schließt

noch andere Technologien bzw. Bereiche (z. B. Advanced Robotics) mit ein. Auch wird die gemeinsame Entwicklung mit den physischen Komponenten, im Gegensatz zu der eher klassischen Einbettung in die bereits existierende physische Welt, als Besonderheit von CPS betont. LEE (2015, S. 4838) sieht CPS schließlich als den grundlegenden und langlebigeren Begriff, da er keinen Implementierungsansatz oder spezifische Anwendung referenziert bzw. vorgibt.

Die vielzähligen IoT-Definitionen und das moderne IoT-Verständnis, wonach das Internet als Umsetzung der notwendigen Netzwerkinfrastruktur nicht mehr nötig ist, lassen die Grenzen zwischen CPS und IoT allerdings weiter verschwinden. Letztendlich basiert die Abgrenzung der beiden Disziplinen nur noch auf der Betonung von Alltagsgegenständen als zentraler Betrachtungsgegenstand und der zugrundeliegenden Betrachtungsdisziplin. Abhängig von der gewählten IoT-Definition ist CPS darüber hinaus – ähnlich wie Ubiquitous Computing gegenüber Pervasive Computing – das übergeordnete Paradigma.

2.2.7 Vergleichender und zusammenfassender Überblick über die Forschungsdomänen

Die Analyse der verschiedenen Forschungsgebiete bzw. -domänen, die sich konzeptionell unabhängig von einem konkreten Anwendungsbereich mit digitalisierten Produkten befassen, zeigte die zahlreichen konzeptionellen Überschneidungen und die spezifischen Unterschiede der Domänen auf.

Im Rahmen der Analyse konnten jedoch nicht alle Forschungsdomänen, die sich mit digitalisierten Produkten befassen, berücksichtigt werden. Eingangs wurden einige Domänen von der Detailbetrachtung explizit ausgeschlossen. Gleichzeitig deckte die Detailbetrachtung weitere (Teil-)Domänen (z. B. CPS oder Ambient Assisted Living) auf, die bei Bedarf in Teilen näher mitbetrachtet wurden. Ziel dieser Analyse war es einen Überblick über die zentralen Forschungsdomänen digitalisierter Produkte zu erhalten und diese voneinander abzugrenzen. Ein vollständiger Überblick wurde im Rahmen der vorliegenden Arbeit nicht angestrebt.

Die Analyse brachte dabei die folgenden Erkenntnisse über die Domänen:

Die Domänen *Context-aware Computing* und *Mobile Computing* konnten als Basisdomänen identifiziert werden, die in vielen der anderen Konzepte als Grundlage genutzt werden und damit einen Teil der domänenübergreifenden, gemeinsamen Charakteristika abdecken bzw. begründen.

Die älteste Domäne, *Ubiquitous Computing*, konnte dagegen als übergeordnete Vision für die anderen Konzepte eingeordnet werden. Der ursprüngliche Fokus des

Konzepts auf das Verschwinden der IT in den Hintergrund findet sich allerdings heute nur noch explizit im Konzept des Ambient Intelligence wieder.

Die Domäne *Pervasive Computing* weist die größte Überschneidung mit Ubiquitous Computing auf und wird in vielen Fällen mit dieser faktisch gleichgesetzt oder zumindest als Nachfolger von Ubiquitous Computing betrachtet. In einigen Ausnahmen wird Pervasive Computing auch als Teilkonzept von Ubiquitous Computing verordnet. Aufgrund seines industriellen Praxisursprungs im Gegensatz zu Ubiquitous Computing hat es jedoch einen größeren Technologiefokus.

Das jüngere Konzept des *Ambient Intelligence* wird, ähnlich wie Pervasive Computing, als Weiterentwicklung von Ubiquitous Computing betrachtet. Mit seinem Fokus auf die Bedürfnisse und (soziale) Situation des Nutzers grenzt es sich deutlich von den anderen Konzepten ab, die die Nutzerorientierung eher vernachlässigen.

Die jüngste und derzeit populärste Domäne ist die des *Internet of Things*, die vor allem zu Beginn einen starken Technologiefokus aufwies. Bis heute haben sich zahlreiche unterschiedliche Definitionen mit unterschiedlichen Schwerpunkten entwickelt. Der allgemeine Fokus der Domäne liegt dabei auf einer globalen, dynamischen Netzwerkinfrastruktur und intelligente Alltagsgegenstände bzw. Entitäten statt dedizierter IT-Geräte. Darüber hinaus finden sich heute weitere Konzepte, die das IoT-Konzept ergänzen, wie das *Web of Things*, *Internet of Things and Humans* oder das *Internet of Everything*.

Auffällig bei Betrachtung der Konzepte ist, dass die ursprünglichen Ansätze des Ubiquitous Computing und Context-aware Computing einen wissenschaftlichen Ursprung aufweisen, während die nachfolgenden Konzepte ihren Ursprung in der Praxis haben. Dabei werden die Praxiskonzepte ebenso stark in der Wissenschaft diskutiert (und gefördert) wie die originären Forschungsansätze.

Allen Ansätzen ist dabei gemein, dass keine fundierte definitorische Grundlage oder konkrete Objektbezeichner (Objekt, Alltagsgegenstände, Entitäten, etc.) existieren und die Begriffe teils homonym oder synonym verwendet werden. Ferner existieren selten ganzheitliche Ansätze und Sicherheit und Privatsphäre stellen teils immer noch zu lösende Herausforderungen dar.

Die teils hohen, konzeptionellen Überschneidungen zeigen die Möglichkeit und auch Notwendigkeit einer domänenübergreifenden Forschung. Für einen konsistenten und kohärenten Body of Knowledge sollten die Forschungsbereiche zukünftig eindeutiger voneinander abgegrenzt werden. Als ersten Schritt hierfür lassen sich im direkten Vergleich drei zentrale Unterscheidungsmerkmale erkennen:

- **Orientierung:** Inwieweit es sich bei dem Konzept um einen Nutzer-orientierten oder Technologie-orientierten Ansatz handelt;
- **Beweglichkeit:** Inwieweit der Fokus auf der Einbettung der Technologien oder auf der Mobilität liegt;
- **Ubiquität:** Ob grundsätzlich eine kontext-basierte Ubiquität (*Situated Access*) oder eine globale Ubiquität (*Mass Access*) angestrebt wird.

Zu beachten hierbei ist jedoch, dass die Unterscheidungsmerkmale jeweils Endpunkte eines Spektrums darstellen, auf dem sich die Domänen positionieren lassen. So kann eine Domäne sowohl Aspekte der Einbettung als auch der Mobilität enthalten. Der grundsätzliche Fokus der Domänen liegt allerdings auf einem der beiden. Ausnahme hiervon bilden lediglich im Merkmal Beweglichkeit die beiden Domänen Context-aware Computing und Pervasive Computing, denen sowohl eine Technologie- als auch eine Nutzerorientierung zugesprochen werden und keine eindeutige Positionierung möglich war.

In der Tabelle 9 sind die Ergebnisse der Analyse als Übersicht zusammengefasst.

	Context-aware Computing	Mobile Computing	Ubiquitous Computing	Pervasive Computing	Ambient Intelligence	Internet of Things
Ursprung	1991 Schilit und Theimer	80/90er unbekannt	1991 Mark Weiser, Xerox Parc	90er IBM	1998 Philips, Palo Alto Ventures	1999 Kevin Ashton, Procter & Gamble
Weitere Bezeichner	Context-aware Systems	Nomadic Computing (veraltet)	Calm/Invisible/Disappearing/Pervasive Computing	-	Ambient Computing	-
Weiterentwicklungen	Basiskonzept für viele Ansätze	Basiskonzept für viele Ansätze	Pervasive Computing, Ambient Intelligence	-	Ambient Assisted Living: Unterstützung älterer Nutzer zum selbstbestimmten Leben im eigenen Zuhause	Internet of Things and Humans (O'Reilly): explizite Berücksichtigung des Nutzers im IoT-Konzept; Internet of Everything (Cisco): explizite Berücksichtigung von Nutzern und Prozessen; Web of Things: Addressierung der Interabilitäts-probleme des IoT; Cyber-physical Systems: übergeordneter, implementierungsunabhängiger Ansatz der Computer-Science-Literatur
Ziel	Nutzung von Umgebungs- bzw. Situationsinformationen (lokal, temporal, sozial, kulturell, organisational, interaktional), um einen für die Aufgabe des Nutzers relevanten Service bei sich dynamisch verändernden Ausführungsumgebungen anbieten zu können	physikalisch ortsunabhängige, immer präsente Verfügbarkeit von Services durch physikalisch tragbare IuK-Geräte	eingebettetes, allgegenwärtiges Technologie-Netzwerk zur Unterstützung des Nutzers, der bei der Aufgabenerfüllung auf das Ziel und nicht auf das Gerät fokussiert sein kann	allgegenwärtige IuK-Infrastruktur für kurz- und mittelfristig machbare Lösungen zur reziproken Interaktion und Abhängigkeit mit der Umgebung (Kontext)	Eingebettete IuK-Technologie zur Unterstützung der Nutzer aus dem Hintergrund unter Berücksichtigung der Bedürfnisse des Nutzers und seiner sozialen Situation (Vereinigung von System- und sozialer Intelligenz)	Verknüpfung von intelligenten Alltagsgegenständen über ein globales, dynamisches Netzwerk zur Anbiendung von Services
Zentrale Merkmale	- - Mobilität - Digital Convergence - Mass Scale	- Mobilität - Digital Convergence - Mass Scale	originär: - Netzwerk - Context-Awareness - versteckte Mensch-Computer-Interaktion Ergänzungen: - Computer-Autonomie - künstliche Intelligenz	- Miniaturisierung - Einbettung in Alltagsgegenstände - Vernetzung - Allgegenwärtigkeit - Kontextsensitivität durch Sensoren - Kommunikation der IuK-Komponenten	- Benutzerfreundlich - Intelligent - Eingebettet - Individualisierbar - Adaptiv - unauffällig	- globale Netzwerk-Infrastruktur - Alltagsgegenstände bzw. reale/virtuelle Entitäten - Selbstverwaltung und Selbstorganisation der Objekte - intelligente Interfaces - Koexistenz heterogener Technologien - Services - spanning of time/space/paths
Orientierung	Technologie- und Nutzerorientiert	Technologieorientiert	Nutzerorientiert	Technologie- und Nutzerorientiert	Nutzerorientiert	Technologieorientiert
Beweglichkeit	Mobilität	Mobilität	Einbettung	Einbettung	Einbettung	Mobilität
Ubiquität	-	globale Ubiquität	Kontext-basierte Ubiquität	Kontext-basierte Ubiquität	Kontext-basierte Ubiquität	globale Ubiquität
Sonstiges	-	-	Leitbild	Moderner Ubiquitous Computing Bezeichner oder Teilkonzept	Mobile Computing + Embedded Computing + Ubiquitous Computing	-

Tabelle 9: Vergleichender und zusammenfassender Überblick der populärsten Forschungsdomänen digitalisierter Produkte

2.3 Identifizierung, Vergleich und Einordnung der Anwendungsdomänen digitalisierter Produkte

Die Anwendungsdomänen digitalisierter Produkte (in der Literatur oft auch als Anwendungsbereiche oder Anwendungsgebiete bezeichnet) stellen dabei realweltliche Einsatzbereiche bzw. Umsetzungen von digitalisierten Produkten in der Praxis dar. Bekannte Beispiele hierfür sind etwa Smart Home, Smart Agriculture oder Smart Energy.

Sie stehen dabei in Abhängigkeit zu den Forschungsdomänen, wobei die Forschungsdomänen in der Regel ein höheres Abstraktionsniveau aufweisen, da sie Anwendungsdomänen-übergreifend oder -unabhängig gestaltet sind (siehe Kapitel 2.2). Allerdings haben die Anwendungsdomänen einen nicht zu unterschätzenden rückkoppelnden Effekt auf die Forschungsdomänen, da Ergebnisse aus den Umsetzungen in die weitere Forschung mit einfließen.

Daher ist es im Rahmen der vorliegenden Arbeit notwendig, ein Verständnis über die verschiedenen praktischen Einsatzmöglichkeiten, ihren Gemeinsamkeiten und Abhängigkeiten zu erhalten, um ein domänenübergreifendes Artefakt entwickeln zu können. Dies erlaubt auch die späteren Ergebnisse besser bewerten (z. B. Erkennung von Domänenabhängigkeiten) und damit auch verordnen zu können.

Die Anwendungsdomänen sind dabei sehr vielfältig und schließen Bereiche wie die Landwirtschaft, den Bildungsbereich oder die Industrie mit ein. Ähnlich wie bei den Forschungskonzepten selbst, gibt es hier vielfältige homonyme und synonyme Bezeichner, die ein Erfassen und ein Verständnis der verschiedenen Domänen erschweren. So kann beispielsweise *Smart Environment* sowohl für die Überwachung der Umwelt in Bezug auf Verschmutzung, Temperatur und Feuchtigkeit (Lu et al. 2018, S. 291) als auch für intelligente Wohnungen oder Büros (Atzori et al. 2010, S. 2795–2796) stehen. Gleichzeitig fand sich Smart Environment auch als Forschungskonzept in der Analyse der Forschungsdomänen wieder (siehe Kapitel 2.2).

Die Anzahl der Anwendungsdomänen übersteigt dabei die Anzahl der Forschungsdomänen und wächst durch Erschließen neuer Anwendungsdomänen stetig an. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit ist es daher weder möglich noch für das Endergebnis sinnvoll, alle Anwendungsdomänen im Detail zu analysieren. Ziel ist vielmehr einen Überblick über verschiedene Domänen, deren verschiedene Bezeichner, grundsätzliche Aufgabe, Abhängigkeiten, Überschneidungen und Zugehörigkeit zu den Forschungsdomänen zu identifizieren, um so ein grundsätzliches Verständnis über das Potential der Anwendungsmöglichkeiten digitalisierter Produkte zu erhalten.

Die vielen synonymen und homonymen Bezeichner der Anwendungsdomänen stellen hierbei jedoch ein Problem dar. Daher war Ausgangspunkt für die Analyse die Forschungsdomänen aus Kapitel 2.2. So wurde gezielt nach Publikationen aus dem Bereich der Forschungsdomänen gesucht, die einen Überblick über die entsprechend zugehörigen Anwendungsdomänen lieferten.

Die Suche und Analyse entsprechender Literatur zeigte jedoch, dass die Forschungsdomänenliteratur oft Anwendungsdomänen erwähnt, seltener aber einen umfassenden Überblick oder eine Definition bzw. Beschreibungen der genannten Anwendungsdomänen mitliefert.

Für die Forschungsdomänen *Ambient Intelligence*, *Mobile Computing*, *Context-aware Computing* und *Ubiquitous Computing* war es am schwierigsten geeignete Literatur zu identifizieren. Dies mag z. B. im Falle von Context-aware Computing daran liegen, dass es sich hierbei um ein Basiskonzept und damit Grundlage für die anderen Forschungsdomänen handelt (siehe Kapitel 2.2), sodass der Fokus der Literatur auf der Integration von Context-aware Computing in anderen Forschungsdomänen und weniger in den Anwendungsdomänen liegt.

Darüber hinaus befassen sich viele Publikationen vor allem mit vorhanden, konkreten Projekten und Produkten und geben daher meist nur eine rückblickende Zusammenfassung statt (zusätzlich) einer zukunftsorientierten Darstellung von Einsatzmöglichkeiten. Dabei tut sich hierbei die Frage auf, inwieweit ein Bericht über den Test eines Produkts als ex post Zusammenfassung einer Anwendungsdomäne kategorisiert werden kann.

Aus der Literaturrecherche haben sich schließlich die in Tabelle 10 dargestellten Quellen als Grundlage für die Analyse und den Überblick über die Anwendungsdomänen ergeben. Neben der Quellenangabe enthält die Tabelle auch die der Quelle zugrundeliegende Forschungsdomäne und die von der Quelle eingesetzte Forschungsmethode zur Ermittlung der Anwendungsdomänen. Darüber hinaus listet die Tabelle die Bezeichner der jeweiligen Quelle für die Anwendungsdomänen, also z. B. Anwendungsfelder, Anwendungslevel oder Anwendungsgebiete.

Nicht berücksichtigt in der nachfolgenden Analyse wurden beispielsweise die Publikationen von NOVOTNY UND BAUER (2017), STAVROPOULOS ET AL. (2013) und THANGAVEL ET AL. (2019). Zwar geben die Publikationen teilweise eine umfangreiche Liste an Anwendungsdomänen in den Bereichen Ubiquitous Computing, (social) IoT und Ambient Intelligence an, aber keine zugehörigen Beschreibungen der jeweiligen Anwendungsdomänen. Teilweise werden noch nicht einmal die Primärquellen der Reviews mitangeben. Für Ubiquitous Computing, Context-aware Computing und

Mobile Computing konnten demnach keine die Kriterien erfüllenden Quellen ermittelt werden, jedoch für die Domäne der Cyber-physical Systems.

Quelle	Forschungsmethode	Anwendungsdomänen
Forschungsdomäne Cyber-physical Systems		
CHEN (2017)	Literaturstudie 2012-2017 (Anm.: Erweitert die Arbeit von GUNES ET AL. (2014))	10 Forschungskategorien (+ Smart Building als Unterbereich von Smart Home und Smart City)
GUNES ET AL. (2014)	Umfrage	7 Domänen (+ Smart Building extra)
Forschungsdomäne Internet of Things		
LU ET AL. (2018)	Literaturstudie (Anm.: Bezieht sich u. a. auf ATZORI ET AL. (2010))	4 Anwendungslevel und 14 Service Domänen
ATZORI ET AL. (2017)	Aus dem Horizon 2020 Framework abgeleitet	7 gesellschaftliche Herausforderungen
BORGIA (2014)	Literaturstudie	3 Hauptdomänen, 9 Sub-Domänen und 27 Beispiel-Anwendungen
ATZORI ET AL. (2010)	Literaturstudie	5 Domänen und 19 Szenarios
Forschungsdomäne Pervasive Computing		
GABRIEL ET AL. (2006)	Literaturstudie und Expertenbefragung	9 Anwendungsfelder
Forschungsdomäne Ambient Intelligence		
COOK ET AL. (2009)	Literaturstudie	7 Anwendungen
Forschungsdomäne Service Science		
LIM UND MAGLIO (2018)	Literaturstudie und Text Mining (Anm.: Die Autoren haben zwei verschiedene Untersuchungen durchgeführt mit getrennter Er- gebnisdarstellung: 1. Analyse von Forschungs- literatur, 2. Analyse von News-Berichten)	Forschungsliteratur: <ul style="list-style-type: none"> • 9 Forschungsthemen bzw. Anwendungsgebiete News-Berichte: <ul style="list-style-type: none"> • 13 Anwendungsgebiete mit 55 Untergebieten

Tabelle 10: Übersicht über die Quellen der Anwendungsdomänen-Analyse

Ferner wurde die Publikation von LIM UND MAGLIO (2018) ergänzend herangezogen, obwohl die Publikation ebenfalls keine umfangreiche Domänenbeschreibung darreicht. Allerdings charakterisiert die Publikation die Anwendungsdomänen durch die Identifizierung von Keywords, Abhängigkeiten bzw. Hierarchisierungen und zentrale Domänen-Eigenschaften. Sie stellt damit eine wertvolle Ergänzung zu den anderen Publikationen dar.

Anders als die anderen Publikationen entstammt die Publikation von LIM UND MAGLIO (2018) jedoch der Domäne der *Service Science* – bzw. einer Erweiterung der Service-Science-Domäne (Martin et al. 2019, S. 22) – und bezeichnet die di-

digitalisierten Produkte als *Smart Service Systems* (oder auch *Smart Product-Service Systems*). Bei dem Bereich der Smart Service Systems handelt es sich um einen jungen Forschungsbereich der Service Science, der sich im engeren Verständnis erst seit 2014 durch den Begriffs-prägenden Artikel von VALENCIA ET AL. (2014) zu etablieren anfang. In einem breiteren Verständnis wird seine Verbreitung entlang der Entwicklungen des Internet of Things seit 2010 gesehen (Liu et al. 2018, S. 155–156; Martin et al. 2019, S. 22; Zheng et al. 2019, o. S.). Daher konnte die Domäne in den zentralen Forschungsdomänen von Kapitel 2.2 aufgrund des dort gewählten Vorgehens noch nicht erfasst werden.

Es folgt daher ein kurzer Exkurs zur Service Science um einerseits zu zeigen, welche Vorteile die Einbeziehung des Artikels von LIM UND MAGLIO (2018) für die Analyse besitzt, und andererseits werden die dabei vorgestellten Aspekte der Service Science im weiteren Verlauf der Arbeit noch einmal aufgegriffen.

Exkurs zur Service Science: Die Service Science ist definiert als „*the study of service systems, which are dynamic value co-creation configurations of resources (people, technology, organizations, and shared information)*“ (Maglio und Spohrer 2008, S. 18). Im Zentrum steht dabei der Gedanke der Arbeitsteilung und Spezialisierung aus ganzheitlicher Betrachtung. Durch gemeinsame Wertschöpfung (*Value Co-creation*) unter Einsatz der verschiedenen Kompetenzen von Hersteller und Nutzer entlang vier Dimensionen (*Information-sharing, Work-sharing, Risk-sharing, Goods-sharing*) und einem festgelegten Wertversprechen (*Value Proposition*), das beide Seiten verbindet, soll ein komparativer Vorteil erzielt werden. Dabei sind die vergebenen Rollen als Hersteller und Nutzer im Rahmen einer Wertkette oder innerhalb eines wertschöpfenden Netzwerks (*Service Ecosystem*) dynamisch zu betrachten, weswegen sie in der Regel als Akteure oder Entitäten bezeichnet werden (Maglio und Spohrer 2008, S. 18–19).

Das damit festgelegte Paradigma wird auch als Service-dominant Logic (SDL) bezeichnet und steht damit der traditionellen Goods-dominant Logic (GDL) gegenüber. Die GDL basiert auf der Annahme, dass der Wert eines Gutes Teil davon ist, der durch z. B. Preismechanismen bemessen werden und durch den Nutzer zerstört werden kann (Vargo und Lusch 2017, S. 48; Wilden et al. 2017, S. 346). Anders sieht dies die SDL, hier wird „*der Wert von Produkten und Dienstleistung erst durch deren Nutzung (Value-in-Use) bzw. die Einbettung in einen Anwendungskontext (Value-in-Context)*“ (Böhmman et al. 2014, S. 84) erzeugt.

Der *Service* (betont als Singular) im Rahmen der SDL wird damit nicht mehr als immaterielle Ergebniseinheiten betrachtet, sondern erfährt eine Prozessbedeutung. Dadurch lassen sich alle Ökonomien als Service-Ökonomien bzw. Unternehmen als Service-Unternehmen verordnen (Vargo und Lusch 2008, S. 4; Maglio et al. 2009, S. 398–399; Vargo und Lusch 2017, S. 47–48).

Auch die deutschsprachige Wirtschaftsinformatik und die englischsprachige Information Systems Research setzen sich mittlerweile mit dem aus dem Marketing stammenden Ansatz auseinander. Gerade neuere Service-Geschäftsmodelle werden erst durch Informationssysteme ermöglicht und Service-Systeme verstehen sich wiederum als sozio-technische Systeme (Vargo und Lusch 2008, S. 3; Böhmann et al. 2014, S. 83–84).

Die *smarten (Produkt-)Service-Systeme* stellen eine junge Erweiterung der Service Science dar, wobei die zuvor definierten Service-Systeme um Fähigkeiten der Automatisierung und des Selbst-Managements durch die Kombination von Sensor-, Aktuator-, Koordinations-, Kommunikations- und Steuerungstechnologien erweitert werden. Dadurch kommt es gelegentlich zur synonymen Verwendung mit den Forschungsdomänen CPS oder IoT (Martin et al. 2019, S. 20–23; Zheng et al. 2019, o. S.). Die smarten (Produkt-)Service-Systeme unterscheiden sich aber von diesen durch die zentralen Aspekte der Service Science (Value Co-Creation, Value Proposition, Service-dominant Logic, etc.).

Die Nutzung der Publikation von LIM UND MAGLIO (2018) im Rahmen dieser Analyse ermöglicht daher auch die Einbeziehung einer jungen Domäne.

2.3.1 Zusammenführung und Hierarchisierung der Anwendungsdomänen

Bei der Analyse der einzelnen Anwendungsdomänen fiel zunächst auf, dass sich die meisten Anwendungsdomänen in fast allen Forschungsdomänen mit ähnlichen inhaltlichen Aufgabenbeschreibungen, aber unterschiedlichen Bezeichnungen, wiederfinden ließen. Daher war eine inhaltliche Zusammenführung der Anwendungsdomänen über Forschungsdomänengrenzen hinweg möglich und sinnvoll.

Bei dem Vergleich der Publikationen fiel allerdings auch auf, dass der angegebene Fokus der Aufgaben der jeweiligen Anwendungsdomäne unterschiedlich sein kann: So kann z. B. der Fokus auf der Sicherheit der eingesetzten IoT-Systeme gegen Zugriff unbefugter Dritter (*Produktfokus: Wie müssen die digitalisierten Produkte konzipiert sein?*) oder z. B. auf der Nutzung von IoT-Systemen zur Erreichung von

Sicherheit in Smart Homes (*Fokus Einsatzpotentiale: Was müssen die digitalisierten Produkte können*) liegen. Der Produktfokus wird bei der Analyse der digitalisierten Produkte im nachfolgenden Kapitel 3.4 weiter thematisiert, während die nachfolgenden Ausführungen die Einsatzpotentiale behandeln.

Aus dem inhaltlichen Vergleich und der Zusammenführung ergeben sich daher die folgenden Anwendungsdomänen: *Agriculture, Building, Education, Energy, Entertainment, Healthcare, Logistics, Manufacturing, Security and Safety, Smart City, Smart Home, Social Networking, Tourism, Transportation*.

Die Domäne *Smart Environment* wurde zwar als eigenständige Domäne in einigen Quellen ausgewiesen (z. B. bei LU ET AL. (2018, S. 291) oder ATZORI ET AL. (2010, S. 2794–2796)), jedoch – wie eingangs bereits dargestellt – handelt es sich hierbei um einen homonymen Begriff. Je nach Definition hat er eine stark abweichende Bedeutung, weswegen er im weiteren Verlauf der Arbeit nicht als eigenständige Domänenbezeichner verwendet wird. Die mit dem Begriff in den Publikationen jeweils umschriebenen Konzepte, Aufgaben und Ziele ließen sich jedoch aufteilen und den anderen Anwendungsdomänen zuordnen.

LIM UND MAGLIO (2018, S. 164–171) schlagen darüber hinaus *Smart Antenna, Smart Cards* und *Mobile Devices* jeweils als Forschungs- und Anwendungsgebiete vor und reduzieren diese später auf den Anwendungsbereich *Smart Devices* und die Komponente *Things*. *Smart Devices* wird dabei, ebenso wie *Smart Environment*, als ein Anwendungsbereich vom Typ Ressource eingestuft, während die Komponente *Things* eine von drei Komponenten digitalisierter Produkte neben *Customers* und *Providers* darstellt. Da es sich bei *Smart Devices* und *Things* aber um die digitalisierten Produkte als solche handelt, die in den Anwendungsbereichen zum Einsatz kommen, wurden diese nicht als eigene Anwendungsdomäne berücksichtigt.

Ebenfalls wurde das Anwendungsfeld *Kommunikation* der BSI-Studie nicht als eigene Anwendungsdomäne berücksichtigt, da es sich hierbei um eine Funktion bzw. Voraussetzung der digitalisierten Produkte handelt. Die BSI-Studie kategorisiert Kommunikation sogar selbst als Querschnittsfunktion ein. Das Gleiche gilt für das Anwendungsfeld *Elektronischer Handel* der BSI-Studie, das ebenfalls im Folgenden nicht weiter berücksichtigt wurde. Auch hier handelt es sich nicht um einen Anwendungsbereich im eigentlichen Sinn, sondern um eine Querschnittsfunktion der digitalisierten Produkte, die in den verschiedenen Anwendungsbereichen eingesetzt wird (Gabriel et al. 2006, S. 23–24).

Bei der Wahl bzw. Festlegung der jeweiligen Domänenbezeichner, die im Folgenden der Arbeit weiterverwendet werden, wurde weitestgehend auf die Etikettierung mit dem Smart-Begriff verzichtet. Unter *Smart* wird meist die Möglichkeit der in den Objekten eingebetteten Elektronik verstanden, mittels Sensoren etwas abzutasten, zu verarbeiten, zu kommunizieren und nahtlos in die Umgebung integriert zu sein (Borgia 2014, S. 2). Das Objekt wird dadurch aktiv, digital, vernetzt, rekonfigurierbar und kann bis zu einem gewissen Grad auch autonom agieren, während es die lokale Kontrolle über die notwendigen Ressourcen (z. B. Energie, Datenspeicher) besitzt (Poslad 2009, S. 26). Synonym wird daher auch oft der Begriff *intelligent* in der Literatur verwendet (Schuh et al. 2019, S. 229).

Dabei handelt sich um einen technologieabhängigen bzw. zeitabhängigen Begriff, der dadurch zukünftige Konzepte und Technologien ggf. ausschließt oder immer wieder neu definiert werden muss, auch wenn die grundsätzliche Domäne, wie z. B. der Bildungsbereich, gleichbleiben sollte. Ähnlich verhielt sich dies in der Vergangenheit bereits mit dem Begriff der künstlichen Intelligenz (Streitz 2019, S. 792–793).

Zusätzlich soll der Begriff vorrangig die positiven Aspekte hervorheben, die den Komfort der Nutzer erhöhen, im Gegensatz zu den eher negativen Aspekten wie z. B. die Massenüberwachung oder die Kommerzialisierung persönlicher Nutzerinformationen (Olson et al. 2015, S. 885). Man kann ihm daher unterstellen, ein reiner Marketing-Begriff zu sein. Dabei betont STREITZ (2019, S. 809), dass *Smartness* kein Ziel oder Wert an sich ist und anhand der Nutzerbedürfnisse und daraus abgeleiteten Design-Guidelines evaluiert werden muss; insbesondere da Zielkonflikte zwischen Privatsphäre der Nutzer und Funktionalität des Objekts (*Smartness*) sowie zwischen Automatisierung und Kontrolle durch die Nutzer bestehen (Streitz 2019, S. 791–803).

Daher eignet sich der Begriff weniger, um eine allgemeine Anwendungsdomäne zu beschreiben als vielmehr die konkreten Technologien. Ausnahme bilden hierbei lediglich die Domänen *Smart City* und *Smart Home*. Auch wenn beispielsweise STREITZ (2019, S. 805) anmerkt, dass die Transformation von Städten in Smart Cities keine neue Idee ist und in der Vergangenheit bereits verschiedene ähnliche Bezeichner (z. B. *Wired Cities*, *Digital City*, *Virtual City*, *Ubiquitous City*) gebräuchlich waren und vereinzelt noch sind (z. B. *Sustainable City*), ist der Smart-City-Bezeichner der derzeit populärste und inklusivste Bezeichner, wenngleich er jedoch auch inflationär genutzt wird und daher ohne allgemeingültige Definition ist. Die Analyse dieser Arbeit belegt dies, da in den Quellen keine Synonyme für Smart City oder Smart Home angeführt wurden und es sich daher – auch im Hinblick auf

STREITZ (2019) – um etablierte Begriffe der Literatur handelt, womit sie eine Ausnahme im Bereich der digitalisierten Produkte darstellen.

Die zusammengeführten Anwendungsdomänen sind allerdings nicht völlig trennungsscharf zu betrachten, da sie in einigen Fällen inhaltlich überschneidend oder hierarchisch abhängig sind (wie im Nachfolgenden weiter ausgeführt). Als Zusammenführung der Quellen und durch den Vergleich der verschiedenen Domänen, ergibt sich im Rahmen der vorliegenden Arbeit das in Abbildung 4 dargestellte Verständnis einer Hierarchie der Anwendungsdomänen, die eine Kategorisierung der Anwendungsdomänen in drei Domänenbereiche vorsieht:

1. Die *Infrastructure-Application-Domänen* stellen in Größe und Umfang eigene Domänen dar, während sie gleichzeitig auch oft Enabler der anderen Domänen sind.
2. Die *Business- und Consumer-Application-Domänen* bauen auf den Infrastruktur-Domänen auf oder benötigen sie gar zur Umsetzung. Ihre Aufgaben richten sich direkt an Privatpersonen oder geschäftliche Unternehmen bzw. (öffentliche) Einrichtungen.
3. Die *Public-Administration-Application-Domäne* besteht derzeit nur aus der Domäne Smart City (& Government) und stellt eine Vereinigung der anderen Domänen dar.

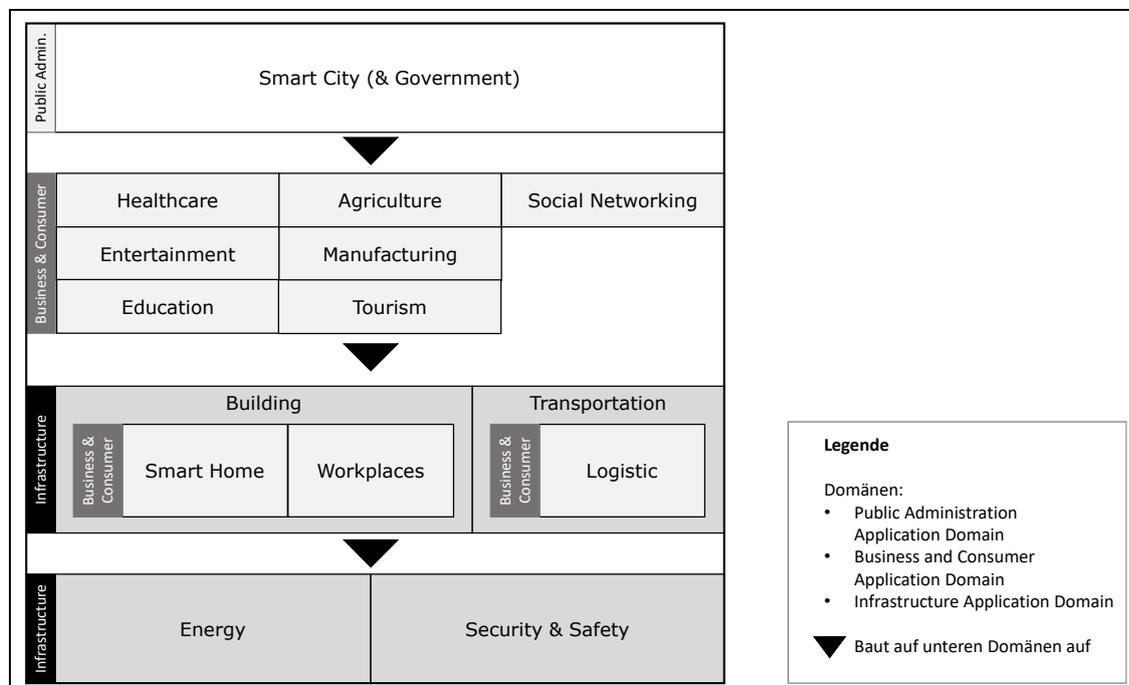


Abbildung 4: Hierarchische Struktur der Anwendungsdomänen

2.3.2 Infrastructure Application Domains

Die Infrastrukturdomänen stellen eigenständige Anwendungsdomänen dar und bilden gleichzeitig die Grundlage für viele Ziele, Aufgaben und Konzepte der anderen Domänen sowie auch teilweise untereinander. Sie werden daher in der Literatur manchmal als eigenständige Domäne ausgewiesen oder als Teilbereiche einer anderen Anwendungsdomäne angeführt. Zu den Infrastrukturdomänen zählen dementsprechend die Domänen *Building*, *Energy*, *Security* and *Safety* sowie *Transportation*. Eine Übersicht und Kurzbeschreibung der Infrastrukturdomänen finden sich in Tabelle 11.

Die Komplexität der Abhängigkeiten der Domänen und uneindeutigen Zuordnungen in der Literatur zeigt sich bei den Infrastrukturdomänen *Energy* und *Security and Safety* am deutlichsten:

So werden wie z. B. bei ATZORI ET AL. (2010, S. 2795) die Energiekonzepte als Teil der Smart-Home/Environment-Domäne verstanden und der Schutz vor Diebstahl der Domäne Healthcare zugeordnet. Auch BORGIA (2014, S. 10) ordnet den Diebstahlschutz und andere Sicherheitskonzepte als Aufgaben der Domäne Healthcare zu, jedoch auch der Domäne Smart Home. GUNES ET AL. (2014, S. 4253) weisen dagegen sowohl Sicherheits- als auch Energiekonzepte direkt der Building-Domäne zu, obwohl auch gleichzeitig eine Domäne Critical Infrastructure von den Autoren identifiziert wurde, die neben der Verteilung von Wasser vor allem die Energieverteilung mittels Smart Grids als Aufgabe vorsieht.

Die Ambiguität der Zuordnung von Sicherheits- und Energiekonzepten zu verschiedenen Domänen als auch als eigene Domäne zeigt, dass es sich hierbei um infrastrukturelle Domänen handelt. Die Konzepte der Domänen werden in verschiedenen Domänen benötigt, auch in den anderen beiden Infrastruktur-Domänen, Building und Transportation.

Ferner ist die Energy-Domäne bereits mit einer konkreten Technologielösung verknüpft. Die Technologie des Smart Grids wird bei einigen Autoren wie z. B. BORGIA (2014, S. 9–10) bereits stellvertretend als Bezeichner für die Energy-Domäne verwendet und in vielen der anderen Publikationen als Lösungskonzept mitangeführt.

Die Domänen *Building* und *Transportation* wiederum weisen die Besonderheit auf, dass von ihnen jeweils spezielle Domänenausprägungen existieren (*Smart Home* und *Logistics*), die sich in der Literatur aufgrund von Umfang und Reifegrad bereits als eigenständige Domänen etabliert haben.

Domäne und Synonyme	Kurzbeschreibung und weitere Ergänzungen	Quellen
Building Building Automation, Intelligent Building, Smart Home, Smart Office, Workplaces, Smart Environment, Smart Building	Intelligente, selbstlernende (Innenraum-) Umgebungssteuerung zur Unterstützung der Sicherheit (z. B. Überwachung), bei der Energieeinsparung (z. B. Licht- und Temperaturregelung) oder bei der Erhöhung des Komforts Workplaces: Hier insb. auch die Sicherheit der Mitarbeiter in Produktionsumgebungen sowie intelligente Konferenzräume oder Labore <i>Vgl. auch Smart Home als spezielle Domänenausprägung</i>	Eigene Domäne: - COOK ET AL. (2009) - ATZORI ET AL. (2010) - BORGIA (2014) - GUNES ET AL. (2014) - LIM UND MAGLIO (2018) Erwähnung: - CHEN (2017)
Energy Energy Management, Smart Energy, Smart Grid	Nachhaltige Energieerzeugung, -verteilung und -speicherung; Verbesserung der Sensibilisierung für die Energienutzung; Optimierung der Energienutzung z. B. in Fabriken oder Zuhause	Eigene Domäne: - COOK ET AL. (2009) - BORGIA (2014) - GUNES ET AL. (2014) - ATZORI ET AL. (2017) - CHEN (2017) - LIM UND MAGLIO (2018) - LU ET AL. (2018) Erwähnung: - ATZORI ET AL. (2010)
Security and Safety Security, Military, Emergency Response, Smart Safety, Public Safety, Emergency Services, Smart Security, Environmental Monitoring, Smart Environment, Water Quality Monitoring	Innere Sicherheit: Bewältigung von Bedrohungen der öffentlichen Sicherheit (z. B. durch Gefahrenvorhersagen); Schutz von privatem und öffentlichem Eigentum (z. B. vor Diebstahl); Überwachung und Schutz der Natur (z. B. Wasserqualität, Temperatur, Luftfeuchtigkeit) und zentralen Infrastrukturen (z. B. Stromnetz) gegen natürliche oder durch Menschen verursachte Katastrophen; Äußere Sicherheit: Informationsgewinnung und Verarbeitung zur militärischen Abwehr und Bekämpfung äußerer Gefahren	Eigene Domäne: - GABRIEL ET AL. (2006) - COOK ET AL. (2009) - BORGIA (2014) - GUNES ET AL. (2014) - ATZORI ET AL. (2017) - CHEN (2017) - LIM UND MAGLIO (2018) - LU ET AL. (2018) Erwähnung: - ATZORI ET AL. (2010)
Transportation Smart Transportation, Intelligent Transportation, Smart Mobility	Unterstütztes Fahren; Autonome, vernetzte Fahrzeuge; Verkehrsmanagement durch Echtzeit-Informationen; Augmentierte Karten insb. für Touristen; Echtzeit-Fahrzeugdiagnostik und Optimierung der Performanz; Reiseunterstützung (Gepäckmanagement, Boarding, Ticketing); Elektrische Fahrzeuge (z. B. Flottenmanagement, effizientes Laden); Steuerung der gemeinsame Nutzung von Fahrrädern, Autos, etc. (Bezahlung, Parkmöglichkeiten, etc.) <i>Vgl. auch Logistics als spezielle Domänenausprägung</i>	Eigene Domäne: - GABRIEL ET AL. (2006) - COOK ET AL. (2009) - ATZORI ET AL. (2010) - BORGIA (2014) - GUNES ET AL. (2014) - ATZORI ET AL. (2017) - CHEN (2017) - LIM UND MAGLIO (2018) - LU ET AL. (2018)

Tabelle 11: Übersicht über die Infrastruktur-Anwendungsdomänen⁹

Anders sieht dies bei *Smart Office* bzw. *Workplace* aus: Auch hier handelt es sich um eine spezifische Ausprägung von Building. Allerdings wurde dieser Einsatzbereich nur von COOK ET AL. (2009, S. 292–293) als eigenständiger Bereich angeführt. Dementsprechend wurde diese Domäne entweder durch Building bereits subsummiert oder ist hinsichtlich der Reife noch nicht weit genug entwickelt.

Smart Home und *Logistics* wurden daher aufgrund ihres konkreten Aufgabengebietes, Umfangs und Reifegrad den *Business- and Consumer*-Anwendungsdomänen zugeordnet, sodass sich nähere Ausführungen zu den beiden Domänen im nächsten Abschnitt finden.

2.3.3 Business and Consumer Application Domains

Die *Business- und Consumer*-Anwendungsdomänen stellen eigenständige Domänen dar, die aber auf den Konzepten der Infrastrukturdomänen aufbauen bzw. Teile davon in sich integriert aufweisen. Gleichzeitig stellen sie selbst Grundlage für die *Public-Administration-Application*-Domäne dar.

Darüber hinaus weisen die Business- und Consumer-Domänen untereinander ebenfalls Überschneidungen in Bezug auf ihre Aufgaben auf, werden aber vom Umfang und Reifegrad der Betrachtung in der Literatur trotzdem als eigenständige Domänen wahrgenommen. Die Domänen *Entertainment* und *Social Networking* werden dabei am seltensten in der Literatur angeführt.

Zu den Business- und Consumer-Anwendungsdomänen zählen daher die Domänen *Agriculture*, *Education*, *Entertainment*, *Healthcare*, *Logistics*, *Manufacturing*, *Smart Home*, *Social Networking* und *Tourism*. Eine Übersicht und Kurzbeschreibung der Domänen finden sich in Tabelle 12.

Auf die hohe inhaltliche Überschneidung der Business- und Consumer-Anwendungsdomäne *Smart Home* und der Infrastructure-Anwendungsdomäne *Building*, die eine Klassifizierung von Smart Home als spezielle Ausprägung von Building bewirkte, wurde bereits im vorherigen Kapitel eingegangen.

Ein ähnliches Verhältnis ist zwischen der Business- und Consumer-Anwendungsdomäne *Logistics* und der Infrastructure-Anwendungsdomäne *Transportation* zu beobachten, allerdings ergeben sich hierbei noch weitere Problematiken. In der Literatur werden beide Domänen sowohl als eine gemeinsame Domäne ausgewiesen wie z. B. bei ATZORI ET AL. (2010, S. 2793–2795) oder als einzelne, getrennte

⁹ In dieser und den folgenden Tabellen des Kapitels wurde aus Gründen der Übersichtlichkeit auf die Seitenangaben bei den Quellen verzichtet. Im zugehörigen Begleittext finden sich entsprechende Seitenangaben, wenn auf spezifische Inhalte der Quellen eingegangen wird. Dies sollte zudem kein Problem der Forschungstransparenz darstellen, da es sich bei den angegebenen Quellen um Artikel mit geringer Seitenanzahl handelt und daher die Inhalte im Zweifel leicht auffindbar sind.

Domänen wie z. B. bei LIM UND MAGLIO (2018, S. 170). Inhaltlich geht die *Transportation*-Domäne allerdings über die *Logistics*-Domäne hinaus und beinhaltet auch Konzepte, die nicht nur den Transport von Waren betreffen, sondern explizit auch den (öffentlichen) Personentransport, weswegen sie als übergeordnete Domäne verstanden werden kann.

Domäne und Synonyme	Kurzbeschreibung und weitere Ergänzungen	Quellen
Agriculture Smart Agriculture, Sustainable Agriculture, Smart Farms, Smart Farming	Überwachung und Steuerung von Ernte, Nutzvieh und Produktion; Distribution von agrarwirtschaftlichen Produkten; Synchronisierung von Verkäufen und Produktion	Eigene Domäne: - BORGIA (2014) - ATZORI ET AL. (2017) - CHEN (2017) - LIM UND MAGLIO (2018) - LU ET AL. (2018) Andere Domäne: Atzori et al. (2017)
Education Smart Education, Smart Learning Environment, Smart Kindergarten	Intelligente Lernumgebungen in Kindergarten, Schulen und Universitäten (z. B. mit automatischer Licht- und Fenstersteuerung); interaktive Lehr-/Lerngegenstände (z. B. Smart Tables, Whiteboards); Förderung der Kommunikation durch Lehrumgebung oder Lehrgegenstände; Automatische Verteilung von Materialien; Datensammlung und Auswertung (z. B. zur Verfolgung des Lernfortschritts); Nutzung intelligenter Objekte in der Forschung	Eigene Domäne: - COOK ET AL. (2009) - ATZORI ET AL. (2017) - CHEN (2017) - LIM UND MAGLIO (2018) - LU ET AL. (2018)
Entertainment Entertainment and Gaming, Smart Leisure Environments	Spiele und Gaming-Room: Automatisiert angepasste Schwierigkeitslevel; Sensing Parameter der Spieler Weitere Freizeitemgebungen: z. B. Anpassung der Temperatur passend zur Ausstellung und Außentemperaturen in Museen; Upload von individuellen Profilen in die Trainingsmaschinen der Fitnessstudios; automatisierte Erkennung der Trainierenden und Überwachung der Gesundheitsparameter <i>Vgl. auch Healthcare (Entertainment bei Untersuchungen)</i>	Eigene Domäne: - LU ET AL. (2018) Erwähnung: - COOK ET AL. (2009) - ATZORI ET AL. (2010) - BORGIA (2014)
Healthcare Medical Devices and Systems, Medical and Healthcare, Wellbeing Issues, Independent Living, Smart Health, Health Monitoring and Assistance, Smart Healthcare and Management	In Krankenhäusern: Real-Time Patientenüberwachung; Smarte Operationssäle; Ressourcenmanagement; Nachverfolgen von Gegenständen und Personen insb. für Notfallsituationen; Bereichszutrittskontrollen; Entertainment insb. für Kinder während der Untersuchungen Zuhause (vgl. auch Smart Home): Fernüberwachung; Unterstützung bei Übungen und Diäten; Auffinden von Gegenständen; Unterstützung beim Schaffen und Erhalt sozialer Netzwerke; Anomalie Detektion	Eigene Domäne: - GABRIEL ET AL. (2006) - COOK ET AL. (2009) - ATZORI ET AL. (2010) - BORGIA (2014) - GUNES ET AL. (2014) - ATZORI ET AL. (2017) - CHEN (2017) - LIM UND MAGLIO (2018) - LU ET AL. (2018)

Logistics Smart Logistics, Supply Chain Management, Product Lifetime Management	Unterstützung beim Transport von Fracht (Routing, Real-Time Monitoring); Vernetzung von Produktionsstätten, Fahrzeugen und Produkten; Identifizierung und Überwachung von Materialien und Gütern inkl. Bestandsmanagement; Warenhaus- und Einzelhandelsmanagement	Eigene Domäne: - GABRIEL ET AL. (2006) - ATZORI ET AL. (2010) - BORGIA (2014) - ATZORI ET AL. (2017) - LIM UND MAGLIO (2018) - LU ET AL. (2018)
Manufacturing Smart Manufacturing, Industrie 4.0, Smart Factory, Process Control	Nutzung eingebetteter Soft- und Hardware zur (automatisierten) Steuerung, Konfigurierung und Optimierung der Produktivität bei der Herstellung von Produkten und Bereitstellung von Dienstleistungen (Tracking, Monitoring, Vernetzung; Synchronisation); Selbst-organisierende Fabriken	Eigene Domäne: - GUNES ET AL. (2014) - CHEN (2017) Erwähnung: - GABRIEL ET AL. (2006) - COOK ET AL. (2009) - ATZORI ET AL. (2010) - BORGIA (2014) - LIM UND MAGLIO (2018)
Smart Home Smart Building, Smart Environment, Intelligentes Haus	Grundsätzlich die unter <i>Building</i> angeführten Beispiel-Aufgaben mit Orientierung an den Bedürfnissen der Bewohner, insb. auch die Unterstützung kranker oder älterer Bewohner (vgl. Healthcare); Schutz der Kinder; Schutz vor Diebstahl; Steuerung der Haushaltsgeräte	Eigene Domäne: - GABRIEL ET AL. (2006) - COOK ET AL. (2009) - BORGIA (2014) - CHEN (2017) - LIM UND MAGLIO (2018) - LU ET AL. (2018) Erwähnung: - ATZORI ET AL. (2010) - GUNES ET AL. (2014)
Social Networking Personal and Social Networking, Social Networking	Automatisierte Bereitstellung von Echtzeit-Informationen über den Aufenthaltsort von Personen für das Treffen von Freunden, Meetings oder für die Teilnahme an Events <i>Vgl. auch Healthcare</i>	Eigene Domäne: - ATZORI ET AL. (2010) - LU ET AL. (2018) Erwähnung: - COOK ET AL. (2009) - BORGIA (2014)
Tourism Smart Tourism, Smart Hospitality	Tour Guide Services (z. B. durch Mobiltelefone); Geodaten; ein vernetztes System von Tourismuszielen; Vernetzung von Menschen und Service Umgebungen (z. B. Restaurant, Hotel) <i>Vgl. auch Transportation</i>	Eigene Domäne: - BORGIA (2014) - LU ET AL. (2018) Erwähnung: - ATZORI ET AL. (2010) - LIM UND MAGLIO (2018)

Tabelle 12: Übersicht über die Business- und Consumer-Anwendungsdomänen

Ferner weisen Logistic und Transportation Überschneidungen mit den Business- und Consumer-Anwendungsdomänen *Agriculture* und *Tourism* auf. So wird bspw. die Aufgabe des Transports leicht verderblicher Ware bei LU ET AL. (2018, S. 291) der *Agriculture*-Domäne, bei ATZORI ET AL. (2010, S. 2794) der gemeinsamen Domäne *Transportation*- und *Logistics* und bei BORGIA (2014, S. 8) der *Logistic*- und

Product-Lifetime-Management-Domäne zugeordnet. Daher wurde Transportation als notwendige Infrastructure-Anwendungsdomäne verordnet, die Konzepte für andere Domänen wie Agriculture und Tourism bietet, während Logistics aufgrund der hohen Überschneidungen als spezifische Ausprägung von Transportation verstanden werden kann, die aufgrund der Reife in der Literatur als eigene Domäne verordnet wird.

Tourism und Transportation wiederum werden zwar, z. B. bei BORGIA (2014, S. 9–10), zu einer Domäne zusammengeführt, bei LU ET AL. (2018, S. 291) dagegen als getrennte Domänen betrachtet. Da Tourism inhaltlich über Konzepte des (Personen-)Transports hinausgeht und einen wichtigen Bereich für viele Städte darstellt, wurde Tourism als eigene Domäne verstanden.

Neben Smart Home und Building überschneiden sich auch die Domänen *Education* und *Building* hinsichtlich spezifischer Raumsteuerungskonzepte wie z. B. die automatisierte Lichtsteuerung. Die Überschneidung ist hierbei allerdings geringer als z. B. im Fall von Smart Home und Building, da Education auch viele weitere Gebäude-unabhängige Konzepte beinhaltet. Dies unterstreicht jedoch die Rolle von Building als Infrastruktur-Anwendungsdomäne.

Größere inhaltliche Überschneidungen gibt es dagegen bei *Healthcare* und *Smart Home*. So wird die häusliche Betreuung unterstützt durch digitalisierte Produkte von kranken oder älteren Menschen (auch bezeichnet als *Home Care*, *Assisted Living* oder *Telemedizin*) sowohl bei Healthcare verordnet wie bspw. bei GUNES ET AL. (2014, S. 4251) und BORGIA (2014, S. 11) als auch bei Smart Home wie bspw. bei COOK ET AL. (2009, S. 288–291). Als weitere Problematik ergibt sich in diesem Fall, dass es sich hierbei auch um eine eigene Forschungsdomäne handelt, die sich mit der Unterstützung älterer Personen für ein selbstbestimmtes Leben im eigenen Zuhause durch digitalisierter Produkte befasst und als *Ambient Intelligence* bzw. in der Spezialausprägung *Ambient Assisted Living* (vgl. hierzu Kapitel 2.2.5) bekannt ist. Da sowohl Healthcare und Smart Home über weitere eigene Konzepte verfügen und entsprechend populär in der Literatur sind, wurden beide weiter als eigenständige Anwendungsdomänen verstanden. Ihre Vereinigung finden sie dabei jedoch in der übergeordneten Forschungsdomäne Ambient Assisted Living.

Bei den Domänen *Entertainment* und *Social Networking* handelt es sich – wie eingangs bereits skizziert – um Domänen, die von nur wenigen Quellen als eigenständige Domänen angeführt wurden. Sie scheinen daher einen geringen Reifegrad aufzuweisen oder noch wenig im Fokus der Betrachtung der Literatur zu stehen. Gleichzeitig sind die Domänen dabei nicht völlig überschneidungsfrei.

Entertainment kann Überschneidungen mit *Smart Home* bzw. *Building* aufweisen, wenn es z. B. um Home-Entertainmentgeräte geht (Borgia 2014, S. 10), und könnte dementsprechend als Teil dieser Domäne verordnet werden. Gleichzeitig wurden Entertainment-Aspekte bei COOK ET AL. (2009, S. 291) auch im Rahmen von *Healthcare* angeführt (z. B. Entertainment von Kindern während der Untersuchungen in Krankenhäusern durch digitalisierte Produkte), sodass Entertainment als noch unreife Domäne verstanden werden kann, die auch außerhalb des Zuhauses stattfinden kann. Sie wurde daher als eigenständige Domäne aufgenommen.

Social Networking wurde in der Literatur sowohl als eigenständige Domäne verstanden (Lu et al. 2018, S. 291), wie auch als Aufgabengebiet in Zusammenhang z. B. mit Betreuung älterer Menschen Zuhause (Cook et al. 2009, S. 290–291; Borgia 2014, S. 11). ATZORI ET AL. (2010, S. 2796) identifizieren darüber hinaus eine Domäne mit der Bezeichnung *Personal and Social*, worunter neben Social Networking (z. B. automatisierte Bereitstellung von soziale Aktivitäten in Web-Portalen für Freunde durch u. a. RFIDs) auch der Verlust von Gegenständen oder Diebstahl verstanden wird und damit Überschneidung mit der *Security- und Safety*-Domäne aufweisen würde. Daher wurde im Rahmen der vorliegenden Arbeit der Begriff Social Networking ausgewählt, um hier die Abgrenzung von Security und Safety zu verdeutlichen.

2.3.4 Public Administration Application Domain

Die Public Administration Application Domain wird durch die Domäne *Smart City* repräsentiert (vgl. Tabelle 13). Die *Smart-City*-Domäne vereint viele der anderen Domänen wie z. B. *Building*, *Transportation* und *Security und Safety* als Gesamtkonzept auf einer höheren Abstraktionsebene. Gleichzeitig ist sie auch eine eigene Domäne mit eigenen Konzepten und Aufgabenbereichen. Sie ist dementsprechend mehr als nur eine Aggregation der anderen Domänen.

Bei BORGIA (2014, S. 8–10) wurde Smart City daher auch zusammen mit der *Industrial*-Domäne und der *Health*-Domäne als übergeordneten Domänen bzw. Hauptdomänen von den anderen (Sub-)Domänen wie z. B. Agriculture oder Smart Home inhaltlich und graphisch abgegrenzt.

Domäne und Synonyme	Kurzbeschreibung und weitere Ergänzungen	Quellen
Smart City Smart City and Government	Informationssammlung und -auswertung zur Stadtplanung (Infrastruktur, Nachhaltigkeit, Transportation, etc.); Unterstützung bei der Energieverteilung, Notfallschutz, sozialen Aktivitäten, etc.	Eigene Domäne: - BORGIA (2014) - ATZORI ET AL. (2017) - CHEN (2017) - LIM UND MAGLIO (2018) - LU ET AL. (2018) Erwähnung in anderen Domänen: - ATZORI ET AL. (2010) - GUNES ET AL. (2014)

Tabelle 13: Übersicht über die Public-Administration-Anwendungsdomänen

Bei LIM UND MAGLIO (2018, S. 170–171) wurde unter *Smart City and Governments* sogar alle anderen Domänen als sogenannte *Business-System-Type-Areas* untergeordnet. Die Business-System-Type-Areas, also die Smart City, bauen wiederum auf den *Ressource-Type-Areas* (*Smart Devices* und *Smart Environments*) auf. Smart Devices und Smart Environments werden dabei als Ressourcen für die Verknüpfung von Dingen, Kunden und Anbietern genutzt (Anm.: Smart Environment ist hier nur definiert als Zusammensetzung von *Smart Air* und *Smart Lighting*).

Dem gegenüber steht die Hierarchisierung bei LU ET AL. (2018, S. 290–291), die die Domänen abhängig von Ziel und Aufgabenbereich in die vier Typen *Infrastructure Level*, *Organizational Level*, *Individual Level* und *All-Inclusive Level* einordnen. Smart City zählt hier zusammen mit *Smart Environment*, *Smart Energy* und *Smart Tourism* zu dem Bereich *Infrastructural Level*. Dabei wird Smart City hier verstanden als eine mit IoT-Geräten und IoT-Systemen ausgestattete Stadt zur Überwachung, Analyse, Informationsverteilung und Koordination, um die Stadtplanung zu verbessern. Dadurch drückt sich ein eher engeres Verständnis von Smart City aus und verdeutlicht das Problem der genauen Abgrenzung von Smart City.

Die Smart-City-Literaturanalyse von MARRONE UND HAMMERLE (2018, S. 204–205) zeigt allerdings, dass über Literaturtypgrenzen (News Artikel, akademische Publikationen, etc.) hinweg ein weiter gefasstes Verständnis von Smart City verbreitet ist. Neben Infrastruktur, Smart Grid, Energie und Transport zählen z. B. auch Stadtplanung oder Nachhaltigkeit zu den Schlüsselthemen von Smart Cities. Das damit begründete Verständnis bildet daher auch die Grundlage für das Smart-City-Verständnis der vorliegenden Arbeit.

2.3.5 Betrachtung der Zusammenhänge zwischen Anwendungs- und Forschungsdomänen

Für ein vertiefendes Verständnis der Zusammenhänge zwischen Forschungs- und Anwendungsdomänen wird dieses im Folgenden näher betrachtet. Die Tabelle 14 zeigt hierfür, in welchen Publikationen der Forschungsdomänen welche Anwendungsdomänen angeführt worden sind. Dadurch ist zu erkennen, dass grundsätzlich alle Anwendungsdomänen Forschungsdomänen-übergreifend sind. Jede Anwendungsdomäne wurde in mehr als einer Forschungsdomänen-Publikation genannt, was die inhaltliche Nähe der Forschungsdomänen zueinander verdeutlicht. Dies sollte bei zukünftiger Forschung innerhalb einer Anwendungsdomäne berücksichtigt werden. Darüber hinaus lassen sich aber noch weitere Erkenntnisse aus der Darstellung ableiten:

Die Anwendungsdomänen *Transportation* und *Healthcare* wurden in allen Forschungsdomänen als auch in allen Publikationen als Anwendungsgebiete digitalisierter Produkte identifiziert. Dies zeigt eine domänenübergreifende Relevanz der beiden Anwendungsdomänen, wenn nicht sogar Reife der Domänen.

Die Anwendungsdomänen *Security and Safety*, *Manufacturing* und *Smart Home* wurden dagegen nicht in jeder Publikation als Anwendungsdomäne oder Teilkonzept einer anderen Anwendungsdomäne identifiziert. Sie finden allerdings in jeder Forschungsdomäne Erwähnung, wodurch auch hier eine gewisse domänenübergreifende Relevanz der Domänen und ggf. Reife angedeutet wird.

Die Anwendungsdomäne *Logistics* als spezielle Ausprägung von *Transportation* wurde nur in drei Domänen angeführt, besitzt aber aufgrund der engen Verknüpfung mit anderen Bereichen wie *Manufacturing* ebenfalls eine domänenübergreifende Relevanz. Dabei wurde die Anwendungsdomäne in jeder der vier Internet-of-Things-Publikationen, aber in keiner der Cyber-physical-Systems-Publikation als Domäne identifiziert. Dies ist aufgrund der engen Beziehung der beiden Forschungsdomänen (siehe Kapitel 2.2.6) überraschend.

Die Domänen *Education* und *Building* fanden sich – mit Ausnahme in der Forschungsdomäne *Pervasive Computing* – ebenfalls in allen Forschungsdomänen wieder. Wird hingegen *Smart Home* als spezielle Ausprägung von *Building* mitberücksichtigt, findet sich *Building* in allen Forschungsdomänen, da *Smart Home* in allen Forschungsdomänen und auch in fast jeder Publikation – mit Ausnahme der Publikation von ATZORI ET AL. (2017) – vertreten ist. Die Domäne *Building*, und insbesondere die Ausprägung *Smart Home*, scheinen daher ebenfalls eine domänenübergreifende Relevanz zu besitzen und auf eine gewisse Reife der Domäne hinzudeuten.

Eher weniger Aufmerksamkeit in den Domänen bzw. Publikationen finden die Domänen *Entertainment*, *Tourism* und *Social Networking*. Die Domänen wurden dabei maximal in zwei Forschungsdomänen und vier Publikationen angeführt. Bei den Domänen könnte es sich dennoch um zukünftig domänenübergreifend relevante Domänen handeln, da sie zumindest noch offene Potentiale zu bieten scheinen. Hier zeichnet sich ggf. Potential für weitere Forschung bzw. Entwicklungen für die anderen Domäne ab.

Die Domäne *Agriculture* wurde als eigenständige Domäne in drei Forschungsdomänen und insgesamt sechs Publikationen angeführt, wobei sie scheinbar vor allem in den neueren und weniger in den älteren Publikationen Erwähnung findet. Es könnte sich daher um eine im Vergleich eher seit kurzem in den Fokus der Betrachtung gerückte, domänenübergreifend thematisch relevante Domäne handeln.

Bei den Domänen *Energy* und *Smart City* ist auffällig, dass sie jeweils nur in drei Domänen angeführt werden, dafür aber in insgesamt sieben Publikationen. Lediglich in den Publikationen zu Pervasive Computing und Ambient Intelligence wurden sie nicht berücksichtigt. Bei den beiden Publikationen handelt es sich allerdings auch um die ältesten Publikationen in der Untersuchung. Dabei ist zu berücksichtigen, dass *Energy* als Infrastruktur-Domäne klassifiziert wurde, auf die viele der anderen Domänen Rückgriff nehmen, wodurch die Domäne dennoch eine domänenübergreifende Relevanz aufweist.

Die Analyse der Publikationen zeigt darüber hinaus, wie unterschiedlich die Wahrnehmung der tatsächlichen Anwendungsdomänen auch innerhalb einer Domäne ausfallen kann: Die getrennte Analyse von Business News und Forschungspublikationen von LIM UND MAGLIO (2018) zeigt deutliche Unterschiede hinsichtlich der identifizierten Anwendungsdomänen auf. So wurden durch die Forschungsliteratur-Analyse weitaus mehr Anwendungsdomänen identifiziert als durch die Analyse von Business News, obwohl es sich bei den Anwendungsdomänen um die praktischen Einsatzmöglichkeiten von digitalisierten Produkten handelt. Die Business News missten darüber hinaus nicht nur junge Anwendungsdomänen wie *Entertainment*, sondern auch etablierte Anwendungsdomänen wie *Building*, *Agriculture* oder *Logistic*. Eine ähnliche Differenz konnte auch bei den Publikationen der Internet-of-Things-Domäne identifiziert werden.

	Cyber-physical Systems		Internet of Things				Pervasive Computing	Ambient Intelligence	Service Science	
	CHEN (2017)	GUNES ET AL. (2014)	LU ET AL. (2018)	ATZORI ET AL. (2010)	ATZORI ET AL. (2017)	BORGIA (2014)	GABRIEL ET AL. (2006)	COOK ET AL. (2009)	News LIM; MAGLIO (2018) Publikationen	
Infrastructure Application Domains										
Building	X	X	-	X	-	X	-	X	-	X
Energy	X	X	X	O	X	X	-	-	X	X
Security and Safety	X	X	X	O	X	X	X	X	X	X
Transportation	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Business and Consumer Application Domains										
Agriculture	X	-	X	O	X	X	-	-	-	X
Education	X	-	X	-	X	-	-	X	-	X
Entertainment	-	-	X	O	-	O	-	O	-	-
Healthcare	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Logistic	-	-	X	X	X	X	X	-	-	X
Manufacturing	X	X	X	O	-	-	X	O	-	O
Smart Home	X	O	X	X	-	X	X	X	X	X
Social Networking	-	-	X	X	-	O	-	O	-	-
Tourism	-	-	X	O	-	X	-	-	-	X
Public Administration Application Domain										
Smart City	X	O	X	O	X	X	-	-	X	X

Tabelle 14: Überblick Anwendungsdomänen in Forschungsdomänenliteratur

Legende: X=als eigene Domäne ausgewiesen (ggf. mit anderem Bezeichner); O=als Teil einer anderen Domäne ausgewiesen; -=nicht vorhanden

Die Publikation des GABRIEL ET AL. (2006) zu Pervasive Computing wiederum weist die geringste Anzahl an identifizierten Anwendungsdomänen auf. Gleichzeitig handelt es sich hierbei auch um die älteste Publikation in der Analyse. Dagegen identifiziert LU ET AL. (2018) die meisten Anwendungsdomänen, während die Publikation – zusammen mit LIM UND MAGLIO (2018) – die jüngste Publikation in der Analyse darstellt. Dies zeigt den Trend zur Zunahme von Anwendungsdomänen von digitalisierten Produkten und damit eine zunehmende Relevanz digitalisierter Produkte in vielen Bereichen der Gesellschaft.

2.4 Zusammenfassung und kritische Anmerkungen zu den Ergebnissen des Kapitels

Die Forschungs- und Anwendungsdomänen digitalisierter Produkte stellen den Bezugsrahmen für die (Weiter-)Entwicklung eben dieser dar, indem sie Methoden, Begriffe, Ergebnisse und Ansätze untersuchen und für die Praxis sowie die weitere Forschung zur Verfügung stellen. Als Anwendungsdomänen werden dabei realweltliche Einsatzbereiche verstanden, die dadurch einen konkreten Praxisbezug aufweisen. Die Forschungsdomänen abstrahieren von den Anwendungsdomänen bzw. sind Anwendungsdomänen-übergreifend in ihrer Betrachtung und fokussieren weniger die konkrete Umsetzung als vielmehr die konzeptuellen Eigenschaften digitalisierter Produkte. Die Analyse der Domänen erlaubte somit einen begrifflichen Rahmen und grundlegende Konzepte in Bezug auf digitalisierter Produkte für die vorliegende Arbeit zu ermitteln.

Zunächst wurden für die konzeptuelle Analyse der Forschungsdomänen die sechs populärsten Domänen identifiziert: *Context-aware Computing*, *Ubiquitous Computing*, *Pervasive Computing*, *Internet of Things*, *Ambient Intelligence* und *Mobile Computing*. Die Domänen sind allerdings nicht trennscharf, sondern weisen deutliche konzeptuelle Überschneidungen auf, sodass sie in der Literatur synonym und homonym verwendet werden. Neben historischen Merkmalen konnten dennoch verschiedene konzeptuelle Unterscheidungsmerkmale identifiziert werden, die eine Abgrenzung der Domänen voneinander erleichtern: *Orientierung*, *Beweglichkeit* und *Ubiquität*. Die Tabelle 9 in Kapitel 2.2.7 führt die Eigenschaften und Unterscheidungsmerkmale der Forschungsdomänen als Übersicht zusammen. Sie enthält zudem Hinweise auf spezielle Ausprägungen oder Weiterentwicklungen der Domänen und stellt somit ein erstes zentrales Ergebnisartefakt der vorliegenden Arbeit dar.

Gleichzeitig kann festgehalten werden, dass eine Forschungsdomäne mehrere Anwendungsdomänen umfasst und eine Anwendungsdomäne Gegenstand mehrerer

Forschungsdomänen ist (siehe hierzu Tabelle 14). Die Literaturanalyse der Anwendungsdomänen deckte überdies eine hierarchische Abhängigkeit der Domänen zueinander auf. Hierfür konnten die Domänen jeweils einem von drei der folgenden Domänen-Typen zugeordnet werden (siehe hierzu auch Abbildung 4): *Infrastruktur-Anwendungsdomänen*, *Business-und-Consumer-Anwendungsdomänen* und *Public-Administration-Anwendungsdomänen*.

Die Infrastruktur-Anwendungsdomänen (*Building, Energy, Security and Safety, Transportation*) stellen dabei die Basis für alle anderen Anwendungsdomänen (auch teilweise untereinander) dar. Die Public-Administration-Anwendungsdomäne mit ihrer derzeit einzigen Ausprägung *Smart City* wiederum ist allen anderen Anwendungsdomänen übergeordnet, da hierbei die Konzepte aller anderen Domänen vereint werden. Die Business-und-Consumer-Anwendungsdomänen (z. B. *Agriculture, Education, Healthcare, Manufacturing, Smart Home*) sind dementsprechend zwischen diesen Extremen zu verordnen. Sie nutzen die Konzepte der Infrastruktur-Anwendungsdomänen und stellen ihrerseits Konzepte für die Public-Administration-Anwendungsdomäne zur Verfügung.

Neben der hierarchischen Abhängigkeit stehen die Anwendungsdomänen auch untereinander in Beziehung bzw. überschneiden sich inhaltlich, was eine Abgrenzung erschwerte: *Smart Home* konnte beispielsweise als spezielle Ausprägung der Domäne *Building* identifiziert werden, *Logistics* und *Manufacturing* wiederum werden häufig in der Literatur als eine gemeinsame Domäne betrachtet. Die Verflechtung der Anwendungsdomänen mit den verschiedenen Forschungsdomänen wie auch ihre Abhängigkeit und konzeptuelle Überschneidungen untereinander müssen bei Forschung innerhalb der Anwendungsdomänen berücksichtigt werden, um wertvolle Ergebnisse nicht zu übersehen.

Als problematischste Domäne erwies sich die Domäne *Smart Environment*: Es konnte festgestellt werden, dass es sich hierbei um einen homonymen Bezeichner handelt, der je nach Kontext unterschiedliche Konzepte umfasst und sowohl als Forschungsdomäne als auch Anwendungsdomäne in der Literatur ausgewiesen wird. Da sich die verschiedenen zugewiesenen Konzepte den anderen Domänen zuordnen lassen, wurde die Domäne bzw. der Bezeichner nicht weiter in der vorliegenden Arbeit berücksichtigt.

Eine weitere Herausforderung bestand in der Klassifizierung von Domänen als vollwertige Anwendungsdomäne (oder ggf. auch Forschungsdomäne). Da keine Kriterien existieren, anhand derer quantitativ klassifiziert werden könnte, wann ein Anwendungsbereich als vollwertige Domäne betrachtet werden kann (und nicht

nur ggf. als Teilbereich einer anderen Domäne oder als Testbereich für neue Möglichkeiten), bleibt nur die qualitative Begründung und damit eine gewisse Subjektivität bei der Einschätzung anhand der gewählten Literatur. So wurde in der vorliegenden Arbeit Social Networking als eigene Domäne verordnet, obwohl hier die Literaturlage nicht eindeutig ist.

Aufgrund des gewählten Vorgehens ergeben sich noch weitere Einschränkungen für die Ergebnisse dieser Arbeit: So sind bei den der Anwendungsdomänen-Analyse zugrunde liegenden Publikationen nicht alle Forschungsdomänen vertreten, da für die fehlenden Domänen keine geeigneten Publikationen ermittelt werden konnten. Es kann zwar angenommen werden, dass aufgrund der konzeptuell-inhaltlichen Überschneidung der Forschungsdomänen, die Ergebnisse auf diese Domänen übertragbar sind, der Umfang der Übertragbarkeit kann allerdings dadurch nicht bestimmt werden. Dementsprechend bietet sich hier Potential für weitere Forschung.

Auch waren die Forschungsdomänen bei der Anwendungsdomänen-Analyse durch eine unterschiedliche Anzahl an Publikationen vertreten. So kamen vier Publikationen aus der Domäne Internet of Things zum Einsatz, allerdings nur jeweils eine Publikation aus den Domänen Pervasive Computing, Ambient Intelligence und Service Science. Für die aus dem Vergleich gewonnene Aussage dieser Arbeit, dass Anwendungsdomänen mehreren Forschungsdomänen zugeordnet werden, macht dies jedoch keinen Unterschied.

Darüber hinaus stellen die Publikationen für Pervasive Computing und Ambient Intelligence die ältesten Publikationen in der Analyse dar, weshalb die Zuordnung der Anwendungsdomänen zu diesen Domänen ggf. nicht mehr aktuell bzw. vollständig sein kann.

Ferner weist die Domäne Cyber-physical Systems eine besondere Nähe zur Domäne Internet of Things auf, wodurch es zu einer stärkeren Repräsentation dieser Domäne in der Untersuchung kommt. Die Betrachtung multipler Publikationen einer Domäne als auch der Vergleich der Publikationen von Domänen, die in einer sehr engen konzeptuellen Beziehung zueinanderstehen, erlaubte jedoch weitere Erkenntnisse zu den Anwendungsdomänen. Obwohl Cyber-physical Systems und Internet-of-Things gelegentlich gleichgesetzt werden, konnte durch den Einsatz multipler Publikationen einer Domäne gezeigt werden, dass ihnen dennoch unterschiedliche Anwendungsdomänen zugeordnet werden.

Das gewählte Vorgehen bei der Analyse der Forschungsdomänen verhinderte überdies, dass auch jüngere, emergente Forschungsdomänen(-Ansätze), deren

Popularität ggf. erst nach 2017 durch die Literatur erfasst werden können, identifiziert und/oder im Detail betrachtet werden konnten. Auch wurden weniger populäre Ansätze von der Untersuchung zu Beginn ausgeschlossen, da sich auf die populärsten Domänen fokussiert wurde, um deren konzeptuelle Merkmale voneinander abzugrenzen. Weitere Forschung könnte sich daher auf jüngere emergente Ansätze oder weniger populäre Ansätze konzentrieren und die Ergebnisse dieser Arbeit dadurch ergänzen.

Aufbauend auf den gewonnenen Erkenntnissen in Bezug auf die Domänen digitalisierter Produkte können im nachfolgenden Kapitel die digitalisierten Produkte selbst konzeptuell näher betrachtet werden.

3 Terminologie, Architektur und Herausforderungen digitalisierter Produkte

In dem vorliegenden Kapitel wird der Bezugsrahmen der vorliegenden Arbeit um das konzeptionelle Verständnis digitalisierter Produkte erweitert. Hierfür wird den Fragen nachgegangen, inwiefern es sich bei digitalisierten Produkten um Informationssysteme im Sinne der Wirtschaftsinformatik handelt und welche besondere Herausforderungen aufgrund ihrer konzeptionellen Besonderheiten existieren.

Beschreibungen digitalisierter Produkte lassen sich dabei in zwei Sichten unterteilen, die *Merkmalsicht* und die *Technologiesicht* (Schuh et al. 2019, S. 229): Die Merkmalsicht basiert meist auf den impliziten Kundenerwartungen, die erst noch in konkrete, lösungsneutrale Anforderungsspezifikationen übersetzt werden müssen. Die Technologiesicht wird dagegen meist in Form verschiedener anwendungsorientierter Architekturen dargestellt, die jedoch oft die verschiedenen Reifelevel der ‚Smartness‘ und damit verschiedene Architekturvarianten vergessen zu berücksichtigen. Für ein umfassendes Verständnis digitalisierter Produkte ist daher eine Betrachtung beider Sichten notwendig.

Nach einer einführenden Erläuterung des methodischen Vorgehens dieses Kapitels (KAPITEL 3.1), wird das Informationssystem-Begriffsverständnis der (deutschsprachigen) *Wirtschaftsinformatik* von dem der *Information Systems Research* abgegrenzt. Darauf aufbauend lässt sich das begriffliche Verständnis digitalisierter Produkte anhand von Definitionen und Merkmalen differenziert betrachten, wodurch die Merkmalsicht abgedeckt wird (KAPITEL 3.2).

Daraufhin werden die zentralen konzeptionellen Komponenten digitalisierter Produkte anhand verschiedener konzeptueller Modelle verglichen und ein zusammenführendes konzeptuelles Verständnis für diese Arbeit abgeleitet. Dadurch wird die Technologiesicht abgedeckt. (KAPITEL 3.3).

Im Anschluss lassen sich die Herausforderungen digitalisierter Produkte identifiziert und den zuvor identifizierten Komponenten digitalisierter Produkte zuordnen. Ein Abgleich mit den Anwendungs- und Forschungsdomänen sorgt für ein erweitertes Verständnis über die Herausforderungen (KAPITEL 3.4).

Das Kapitel schließt mit einer Zusammenfassung und kritischen Diskussion der Ergebnisse (KAPITEL 3.5).

3.1 Methodisches Vorgehen des Kapitels

Zur qualitativen Ermittlung, Zusammenführung und kritischen Auseinandersetzung verschiedener Begrifflichkeiten eignet sich, wie im Kapitel 2.1 ausführlich dargelegt und beschrieben, das methodische Vorgehen eines *Narrative Reviews*. Daher wird im Folgenden die Methode zur Abgrenzung der verschiedenen Verständnisse und Begrifflichkeiten in Bezug auf Informationssysteme und digitalisierte Produkte eingesetzt.

Grundsätzlich bietet sich für den darauf aufbauenden Schritt der Identifizierung der Herausforderungen digitalisierter Produkte aufgrund der dahinter liegenden engeren Forschungsfrage auch eine *systematische Literaturanalyse* an. Jedoch würde sich durch die zahlreichen Anwendungs- und Forschungsdomänen (siehe Kapitel 2) eine Vielzahl von Suchbegriffen ergeben, die zusammen mit den oft eingeschränkten Möglichkeiten von Datenbanksuchstrings eine Kombination von mehreren einzelnen Suchen notwendig machen würde. Ebenso wäre die sich daraus ergebende und zu erwartende hohe Ergebnismenge im Rahmen der vorliegenden Arbeit unter Berücksichtigung des Ziels der vorliegenden Arbeit nicht sinnvoll zu bewältigen.

Auch ein *Descriptive* oder *Scoping Review* statt eines *Narrative Reviews* kommen als weitere Literaturanalysemethoden nicht in Frage, da hierbei keine quantitative Analyse durchgeführt werden und auch nicht der Umfang der gefundenen Literatur analysiert werden soll.

Outcome	Background Review	Standalone Review Paper	Research Thesis
Method	Describing	Narrative Review	Descriptive Review
	Understanding	Critical Review	
	Explaining	Theoretical Review	Realist Review
	Theory Testing	Meta-Analysis	Qualitative Systematic Review
Process	Sequential	Iterative	
Data Source	Citation Indexing Services	Bibliographic Databases	Publications
Coverage	Comprehensive	Representation	Seminal Works
Techniques	Keyword Search	Backward Search	Forward Search

Tabelle 15: Einordnung der Literaturanalyse für die Konzeption und Herausforderungen digitalisierter Produkte

Quelle: in Anlehnung an Cooper (1988, S. 108–112), vom Brocke et al. (2015, S. 214) und Schryen et al. (2020, S. 137)

Daher wird für die Schaffung eines Überblicks über die Herausforderungen digitalisierter Produkte ebenfalls ein narratives Review mit einem iterativen Vorgehen als Methode eingesetzt.

Für die Auseinandersetzung mit den Begrifflichkeiten als auch zur Identifizierung der Herausforderungen werden nur repräsentative oder zentralen Quellen ermittelt. Eine vollständige Erfassung aller Quellen ist nicht geplant. Dafür wird auf verschiedene Datenquellen zurückgegriffen, die durch entsprechende Techniken wie Vorwärts- und Rückwärtssuchen bei Bedarf ergänzt werden.

Die Tabelle 15 fasst die Methodik dieses Kapitels zusammen.

3.2 Einordnung digitalisierter Produkte als soziotechnische Informationssysteme

In Kapitel 1.4 wurde eingangs bereits auf die Unterschiede der beiden Disziplinen Wirtschaftsinformatik und Information Systems Research (bzw. Design Science Research) eingegangen. Dadurch ergibt sich auch ein unterschiedliches Informationssystem-Begriffsverständnis der beiden Disziplinen. Um eine Grundlage für das definitorische Begriffsverständnis digitalisierter Produkte als soziotechnische Systeme im Kontext der Wirtschaftsinformatik zu schaffen, gilt es daher auch diese Unterscheidung aufzuzeigen.

Daher werden in den folgenden Abschnitten einerseits der Informationssystem-Begriff der deutschsprachigen Wirtschaftsinformatik näher betrachtet und andererseits der Informationssystem-Begriff der Information Systems Research.

Im Anschluss lassen sich dann digitalisierte Produkte anhand ihrer Definitionen und daraus abgeleiteten zentralen Merkmalen im Detail charakterisieren und so die Merkmalssicht der Literatur abbilden.

3.2.1 Informationssystem-Verständnis der deutschsprachigen Wirtschaftsinformatik

Das ursprünglich im Jahre 1993 erarbeitete und ein Jahr später beschlossene Profil der Wirtschaftsinformatik bestimmt bis heute den festgelegten Gegenstandsbe-
reich der Wirtschaftsinformatik und damit auch das grundlegende Verständnis des Informationssystem-Begriffs (Heinrich 2012, S. 290–291). Nach dieser Definition ist Gegenstand der Wirtschaftsinformatik (WKWI und GI FB WI 2011):

„[...] Informationssysteme (IS) in Wirtschaft, Verwaltung und privatem Bereich. IS sind soziotechnische Systeme, die menschliche und maschinelle Komponenten (Teilsysteme) umfassen. Sie unterstützen die Sammlung, Strukturierung, Verarbeitung, Bereitstellung, Kommunikation und Nutzung von Daten, Informationen und Wissen sowie deren Transformation. IS tragen zur Entscheidungsfindung, Koordination, Steuerung und Kontrolle

von Wertschöpfungsprozessen sowie deren Automatisierung, Integration und Virtualisierung unter insbesondere ökonomischen Kriterien bei. IS können Produkt-, Prozess- und Geschäftsmodellinnovationen bewirken.“

Ein zentrales Charakteristikum der WKWI-Definition ist demnach die soziotechnische Eigenschaft von Informationssystemen, also die technische und sozialen Teilkomponenten. Wie die ausgewählten Beispiele in Tabelle 16 zeigen, findet sich dieses Charakteristikum auch in vielen Definitionen deutschsprachiger Wirtschaftsinformatik-Lehrbücher wieder. Nach HANSEN ET AL. (2019, S. 13) führt das Zusammenspiel beider Komponenten zu emergenten, nicht deterministischen Verhalten des Gesamtsystems und einem komplexen Aufbau, wodurch das *„gesamte betriebliche Informationssystem nie vollständig automatisiert werden kann, und [...] das Verhalten des Systems laufend angepasst werden muss“*.

Quelle	Definition
ABTS UND MÜLDER (2017, S. 15)	<p>„Computergestützte Informationssysteme sind sozio-technische Systeme, die aus menschlichen und maschinellen Komponenten bestehen. Ihre Zielsetzung ist es,</p> <ul style="list-style-type: none"> • die richtigen Informationen, • im richtigen Umfang, • in der richtigen Form (Aufbereitung), • zur richtigen Zeit, • am richtigen Ort <p>zur Verfügung zu stellen.“</p>
ALPAR ET AL. (2019, S. 25)	<p>„Ein Informationssystem (IS) ist ein künstliches, konkretes System, das aus maschinellen und menschlichen Elementen besteht und seine Nutzer mit Informationen versorgt. Es ist gleichzeitig ein Modell und ein Element einer Organisation oder verbundener Organisationen.“</p>
HANSEN ET AL. (2019, S. 5)	<p>„Ein Informationssystem (Abkürzung: IS; engl.: information system) besteht aus Menschen und Maschinen (Rechner samt Software, Netzen, Kommunikationseinrichtungen), die Information erzeugen und/oder benutzen und die durch Kommunikationsbeziehungen miteinander verbunden sind.“</p>
LAUDON ET AL. (2010, S. 17)	<p>„Ein System, das für die Zwecke eines Teils eines bestimmten Unternehmens entwickelt und implementiert bzw. in diesem Betrieb eingesetzt wird. Ein Informationssystem enthält die dafür notwendige Anwendungssoftware und Daten und ist in die Organisations-, Personal- und Technikstrukturen des Unternehmens eingebettet.“</p>
LEIMEISTER (2015, S. 9)	<p>„Bei Informationssystemen handelt es sich um soziotechnische (»Mensch-Maschine-«) Systeme, die menschliche und maschinelle Komponenten (Teilsysteme) umfassen, insbesondere einer Aufgabenerfüllung dienen und zum Ziel der optimalen Bereitstellung von Information, Koordination und Kommunikation nach wirtschaftlichen Kriterien eingesetzt werden. (Aufbauend auf WKWI 1994)“</p>

Tabelle 16: Ausgewählte Informationssystem-Definitionen bekannter WI-Lehrbücher

Ein Begriff, der oft im Zusammenhang mit Informationssystemen genannt oder auch synonym verwendet wird, ist der des *Anwendungssystems*. MERTENS ET AL. (2017) vermeiden in ihrem Lehrbuch sogar den Begriff des Informationssystems

vollständig und nutzen, ohne konkrete Definition, ausschließlich den des Anwendungssystems. Nach den Autoren lässt sich die Wirtschaftsinformatik daher „als Lehre von der Erklärung und Gestaltung von AS [Anwendungssystemen] verstehen“, mit dem Ziel der „*sinnhaften Vollautomation*“ (Mertens et al. 2017, S. 4). Die sinnhafte Vollautomation wäre allerdings aufgrund des Zusammenspiels mit der sozialen Komponente im Rahmen des soziotechnischen Informationssystem-Verständnis nach HANSEN ET AL. (2019, S. 13) gar nicht möglich, wenn man beide Begriffe gleichsetzt.

Nach ABTS UND MÜLDER (2017, S. 15) grenzt sich ein Informationssystem allerdings von einem Anwendungssystem ab, indem es sich beim Anwendungssystem um den „*automatisierte[n] Teil eines Informationssystems*“ handelt. Gemeint hierbei sind die technischen Komponenten (Daten, Netzwerk, Hardware, Software) und der automatisierbare Aufgabenteil eines Informationssystems. Daneben beinhaltet ein Informationssystem allerdings auch noch den nicht-automatisierbaren Aufgabenteil und die soziale Teilkomponente – den Menschen.

Zu einer ähnlichen Abgrenzung gelangen auch LAUDON ET AL. (2010, S. 17–18). Allerdings ergänzen die Autoren das Informationssystem-Verständnis um die Organisationsstrukturen, in die ein Informationssystem eingebettet werden muss. Dadurch stellt ein Informationssystem immer ein betriebsindividuelles System dar im Gegensatz zu einem Anwendungssystem, bei dem es sich um ein Standardprodukt handelt. Auch betonen die Autoren, dass ein Informationssystem mehrere Anwendungssysteme enthalten kann und in der Praxis eine Charakterisierung als Anwendungs- oder Informationssystem nicht immer möglich ist (Laudon et al. 2010, S. 17).

GABRIEL (2016, o. S.) merkt zudem an, dass der Begriff des Anwendungssystems als Synonym zur Anwendungssoftware ursprünglich zur Abgrenzung von der Systemsoftware diente.

Die Abbildung 5 verdeutlicht die Abgrenzung der Begriffe.

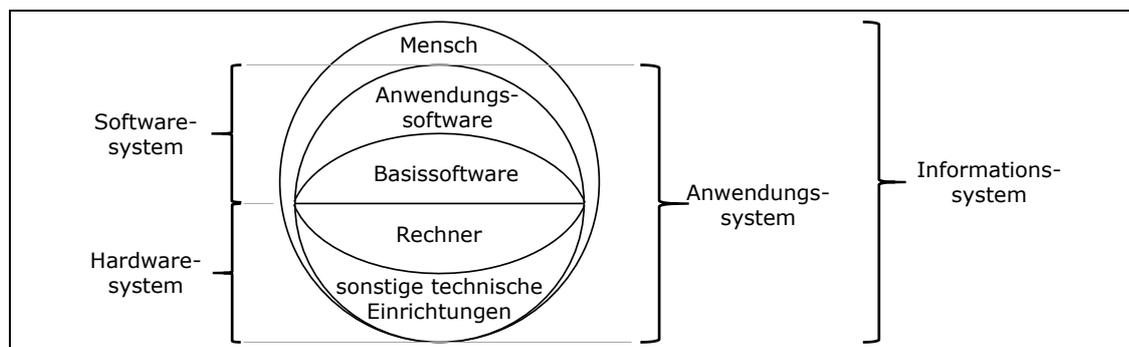


Abbildung 5: Schalenmodell des Informationssystems

Quelle: in Anlehnung an TEUBNER (1999, S. 26) basierend auf HESSE ET AL. (1994, S. 43)

Als weitere Bezeichnung ist in der deutschsprachigen Wirtschaftsinformatik-Literatur auch die Bezeichnung *Mensch-Aufgabe-Technik-System* (MAT-Systeme) gängig. Hierbei fungieren Menschen als Aufgabenträger zur Erfüllung von Aufgaben (Einzelprobleme oder Problembereiche) in Betrieben, bei der Systementwicklung und -einführung und in privaten Haushalten wofür sie IuK benutzen (Heinrich et al. 2011, S. 11) (vgl. hierzu das bereits beschriebene Verständnis von ABTS UND MÜLDER (2017, S. 15)). Der MAT-System-Bezeichner spiegelt also ebenfalls die soziotechnische Betrachtungsweise wieder. Zusätzlich wird bei diesem Bezeichner auch die Aufgaben-Komponente betont und damit die Interaktion mit dem System. Demnach ist der MAT-Bezeichner aussagekräftiger als der des Informationssystems. Dennoch hat sich der Begriff des Informationssystems in der Wirtschaftsinformatik-Disziplin durchgesetzt.

Zusätzlich zu den alternativen Begriffen unterliegt nach FERSTL UND SINZ (2013, S. 11) der Informationssystem-Begriff in der Wirtschaftsinformatik unterschiedlicher Interpretationen, was „aus der mehrdeutigen Verwendung des Begriffs *Information als Tätigkeit* („Informieren“) oder als *Objektart* („Informationsverarbeitung“)“ resultiert und dementsprechend bei der Betrachtung der Literatur zu berücksichtigen ist.

In neuerer Zeit stellt sich zudem eine weitere Herausforderung in Bezug auf die Abgrenzung dar: Obwohl in der Wirtschaftsinformatik oft vorrangig betriebliche Informationssysteme betrachtet werden, lässt sich heute in der praktischen Nutzung, insbesondere von persönlichen Informationssystemen (oft unterstützt durch z. B. Smartphones), die „persönliche und geschäftliche Nutzung nicht trennscharf unterscheiden“ (Hansen et al. 2019, S. 30), sodass eine getrennte Betrachtung von Informationssysteme für Betriebe und private Haushalte nicht immer sinnvoll zu sein scheint.

3.2.2 Informationssystem-Verständnis der Information Systems Research

Die angloamerikanische Information System Research besitzt anders als die deutschsprachige Wirtschaftsinformatik keine einheitlich festgelegte Definition ihres Gegenstandsbereichs. Dementsprechend haben sich viele teils sehr unterschiedliche Definitionen entwickelt, was z. B. den Vergleich von Forschungsergebnissen oder die Ausgestaltung von Lehrprogrammen erschwert (Alter 2008, S. 1–5; Boell und Cecez-Kecmanovic 2015b, S. 4959–4960).

Eine Literaturstudie von BOELL UND CECEZ-KECMANOVIC (2015b, S. 4961–4963) versucht die verschiedenen Informationssystem-Definitionen der Information System

Research daher zu kategorisieren und ermittelt vier vorherrschende Sichtweisen bzw. Verständnisse:

1. *Technology View*: Definitionen dieses Verständnisses fokussieren auf die Technologie/IT (Hardware, Software, Networks) im organisationalen Kontext und betonen so die technologische Fundierung von Informationssystemen. Forschung in diesem Bereich konzentriert sich somit auf Technologietheorien oder auf die Rolle und den Einfluss von IT auf Unternehmen.
2. *Social View*: Definitionen dieses Verständnisses betonen die menschlichen Nutzer von Informationssystemen, die Informationen interpretieren, ihnen Bedeutung verleihen und entsprechende Handlungen durchführen. Informationssysteme sind demnach sozial bestimmt (soziokultureller Kontext, soziale Strukturen, soziale Akteure). Forschung in diesem Bereich setzt sich daher mit den sozialen Prozessen im organisationalen Kontext auseinander, der technologischen Akzeptanz, der Mensch-Computer-Interaktion und der Usability.
3. *Social-technical View*: Definitionen dieses Verständnisses verstehen Informationssysteme als Phänomen, das entsteht, wenn soziale und technologische Komponenten auf multiple Weise interagieren. Dadurch sollen auch die Defizite der *Technology* und der *Social View* überwunden werden und die Komplexität von Informationssystemen berücksichtigt werden. Diese Sicht hat daher auch eine längere Tradition in der Information Systems Research und wird als vielversprechendster Ansatz gesehen.
4. *Process View*: Definitionen dieses Verständnisses betonen die Beziehung von Informationssystemen und den Aktivitäten der Informationsverarbeitung, die sie durchführen und unterstützen (z. B. Verarbeitung von Daten zu Informationen, Verbreitung von Informationen). Im Fokus stehen daher z. B. Fragen der Automatisierung und Optimierung von Informationsflüssen und Arbeitsabläufen.

Demnach lässt sich das allgemeine Verständnis der soziotechnischen Informationssystemen der deutschsprachigen Wirtschaftsinformatik am ehesten der *Social-technical View* zuordnen, da hierbei die beiden Teilkomponenten (Mensch, Maschine) eine Gleichstellung erhalten und ihre Interaktion von Bedeutung ist.

3.2.3 Definition und Merkmale digitalisierter Produkte

Der Betrachtungsgegenstand der vorliegenden Arbeit, der sich in den mannigfaltigen Forschungs- und Anwendungsdisziplinen aus Kapitel 2 ergibt, besitzt keinen eindeutigen Bezeichner. Je nach Literatur und Domäne wird er u. a. mit *digitali-*

sierten Artefakten (Herterich und Mikusz 2016, S. 1), *Smart Things/Objects*, *Intelligent Products/Objects*, *Smart System* (Gutiérrez et al. 2013, S. 203), *Smart Devices* (Silverio-Fernández et al. 2018, S. 2), *Cyber Physical Product*, *Digital Product* (Schuh et al. 2019, S. 229) oder auch *Smart, connected Products* (Porter und Heppelmann 2014a) bezeichnet.

Der aus einer Technologiesicht stammende Begriff *Smart Object* und der eher Management-orientierte Begriff *Smart Product* scheinen dabei die gebräuchlichsten Begriffe, insbesondere in englischsprachigen Publikationen, zu sein (Pérez Hernández und Reiff-Marganec 2014, S. 310; Novales et al. 2016, S. 3–4).

Trotzdem entscheiden sich beispielsweise NOVALES ET AL. (2016, S. 1–4) aufgrund seiner Mehrdeutigkeit gegen den Begriff *Smart Product* und stattdessen für *Digitized Products* (digitalisierte Produkte). Sie grenzen das Konzept dabei explizit von rein digitalen nicht-hybriden Produkten, wie z. B. digitale Musik oder E-Books ab. Dabei muss gerade im englischsprachigen Gebrauch darauf geachtet werden, dass die Begriffe *Digitalization* und *Digitization* unterschieden werden müssen. Auch wenn sich beide im Deutschen mit *digitalisiert* oder *Digitalisierung* übersetzen lassen, werden hierbei unterschiedliche Konzepte ausgedrückt (Legner et al. 2017, S. 301): *Digitization* meint die Konvertierung analoger Signale in digitale Form und löst bzw. entmaterialisiert auf diese Weise Information von physischen Equipment. *Digitalization* wiederum beschreibt die mannigfaltigen soziotechnischen Phänomene und die Prozesse zur Übertragung und des Einsatz dieser Technologien in breiteren individuellen, organisationalen und gesellschaftlichen Kontexten.

Ebenfalls verzichten NOVALES ET AL. (2016) offensichtlich auf die populäre Etikettierung durch *smart*. In Kapitel 2.3.1 wurde bereits auf die Problematik der Smart-Etikettierung (u. a. Technologieabhängigkeit, Betonung ausschließlich positiver Aspekte, Marketing-Begriff) hingewiesen. Die Teilbezeichner *smart* und *intelligent* sind dabei austauschbar, weil gleichbedeutend (Schuh et al. 2019, S. 229; Pérez Hernández und Reiff-Marganec 2014, S. 311). Daher wird sich im Folgenden NOVALES ET AL. (2016) angeschlossen und trotz der geringeren Popularität gegenüber dem Bezeichner *smart* der präzisere Bezeichner *digitalisiert* im Folgenden weiterverwendet.

Weniger eindeutig ist, ob Produkte, Artefakte, Objekte oder Systeme der jeweils besser geeignete Teilbezeichner wäre. Der Produktbegriff stützt dabei eher die betriebswirtschaftliche Sichtweise mit Fokus auf dem (vom Menschen) Hergestelltes (Dudenredaktion o. J.e), weshalb die Begriffe wie *Digitised Products* oder *Smart, connected Products* typischerweise der Management-Literatur entstammen

(Holler et al. 2018, S. 134). Bei dem Begriff Artefakt wiederum handelt es sich um ein Synonym von Produkt (Dudenredaktion o. J.a).

Der Systembegriff verdeutlicht dagegen eine technikorientierte Sichtweise mit dem Fokus auf Zusammenhänge und Beziehungen (Dudenredaktion o. J.h) (siehe zum allgemeinen System-begriff auch MARTIN ET AL. (2019, S. 18)). Bezeichner wie *Cyber-physical Systems* haben daher ihren Ursprung in der Regel in der Engineering Literatur (Holler et al. 2018, S. 134).

Der Objekt-Begriff kann schließlich als neutral eingestuft werden und verdeutlicht lediglich eine gewisse Dinglichkeit bzw. eine materiell-existierende Erscheinung (Dudenredaktion o. J.d).

Da sich das Ergebnisartefakt der vorliegenden Arbeit als Zielgruppe den Herstellern ebendieser zuwendet, wird dementsprechend *Produkt* als Teilbezeichner gewählt, auch um den hybriden Charakter des Problembereichs – physisches Produkt mit digitalen Komponenten – auszudrücken. Gleichzeitig erlaubt der Bezeichner auch eine interdisziplinäre Sichtweise (Holler et al. 2018, S. 134). Der im Folgenden der Arbeit weiter verwendete Begriff ist dementsprechend *digitalisierter Produkte*.

Eine allgemeingültige Definition für digitalisierte Produkte existiert jedoch noch nicht. Die Smart-Product-Definition von MÜHLHÄUSER (2008, S. 163) ist jedoch weit verbreitet (Gutiérrez et al. 2013, S. 206):

„A Smart Product is an entity (tangible object, software, or service) designed and made for self-organized embedding into different (smart) environments in the course of its lifecycle, providing improved simplicity and openness through improved p2u [product-to-user] and p2p [product-to-product] interaction by means of context-awareness, semantic self-description, proactive behavior, multimodal natural interfaces, AI [Artificial Intelligence] planning, and machine learning.“ (Mühlhäuser 2008, S. 163)

Die Definition betont dabei die eigenständige Organisation der Produkte mit ihrer sich auch über den Lebenszyklus des Produktes verändernden Umgebung und ihrer darin enthaltenen und dynamisch hinzukommende eingebettete Peer-Objekte und wechselnden Nutzer. Durch multimodale Interfaces sollen irrelevante Funktionen versteckt und die Nutzer bei relevanten Funktionen proaktiv und angepasst an den Kontext unterstützt werden. Ansätze aus dem Bereich der Service-Orchestrierung, künstlichen Intelligenz und Machine Learning sollen zur Umsetzung dieser Aufgaben beitragen (Mühlhäuser 2008, S. 160–162).

Aufgrund ihrer Popularität und ihres Umfangs umfasst die Definition bereits viele der zentralen Merkmale digitalisierter Produkte, die verschiedene Literaturanalysen hierfür identifizieren konnten¹⁰ und die im Folgenden näher vorgestellt werden.

SABOU ET AL. (2009, S. 141) identifizieren beispielsweise drei Haupt-Charakteristika smarter Produkte:

- *Context-Awareness*: die Fähigkeit den Kontext wahrzunehmen;
- *Proactivity*: die Fähigkeit die Kontextinformationen und andere Informationen nutzbar zu machen, um den Nutzer proaktiv anzusprechen;
- *Self-Organization*: die Fähigkeit Netzwerke mit anderen Produkten aufzubauen oder diesen Netzwerken beizutreten.

Während mit Self-Organization der Aufbau von oder der Beitritt in Netzwerke gemeint ist, war dies in der Definition von MÜHLHÄUSER (2008) die selbst organisierte Einbettung in verschiedene (smarte) Umgebungen. Dadurch ist die Definition von MÜHLHÄUSER (2008) in ihrem Verständnis offener und inkludiert auch Umgebungen, die kein Produkt-Netzwerk darstellen.

Durch das Merkmal Context-awareness zeigt sich bei SABOU ET AL. (2009) wiederum der Einfluss des Context-awareness Computing als Grundlage bzw. Basiskonzept der digitalisierten Produkte (siehe Kapitel 2.2.1).

GUTIÉRREZ ET AL. (2013, S. 208–209) ergänzen diese drei Charakteristika um *Life Cycle Support* und *Adaptiveness*. Unter *Adaptiveness* verstehen die Autoren die Anpassung des Verhaltens an die Umgebung oder an die Nutzer-Reaktionen. *Adaptiv* stellt dabei auch ein zentrales Merkmal des Ambient Intelligence dar (siehe Kapitel 2.2.5). Das Merkmal *Life Cycle Support* wird von den Autoren dagegen nicht näher konkretisiert.

SILVERIO-FERNÁNDEZ ET AL. (2018, S. 4–5) identifizieren ebenfalls *Context-Awareness* als zentrales Merkmal. Als *Connectivity* statt Self-Organization bezeichnen sie die Fähigkeit des Beitritts zu einem Netzwerk, um Zugang zum Internet zu erhalten oder Informationen mit anderen Netzwerk-Objekten auszutauschen. *Connectivity* zeigt damit den Einfluss des IoT (siehe Kapitel 2.2.6), dem der Beitrag auch entstammt. Darüber hinaus identifizieren die Autoren *Autonomy* als weiteres zentrales Merkmal. Mit *Autonomy* bezeichnen sie die Fähigkeit der Geräte autonom Tätigkeiten durchführen zu können ohne direkte Aufforderung durch den Nutzer.

¹⁰ Die im Folgenden aufgeführten Literaturanalysen stammen aus unterschiedlichen Forschungsdomänen, wie z. B. IoT oder Manufacturing. Jedoch wurde dieser Kontext im Rahmen der eigentlichen Literaturanalyse durch die Autoren innerhalb der Suchstrings und gewählten Auswahlkriterien nicht Rechnung getragen, sodass angenommen werden kann, dass hier Charakteristika verschiedener Domänendefinitionen zusammengetragen wurden.

Autonomy ist dabei indirekt bereits in Proactivity und Self-Organization von SABOU ET AL. (2009) enthalten, da die proaktive Nutzer-Ansprache oder der eigenständige Netzwerkaufbau nur durch einen gewissen Grad an Eigenständigkeit der Produkte möglich sind. Durch das Merkmal wird dies allerdings noch einmal betont.

FILHO ET AL. (2017) nutzen als Grundlage ihrer Merkmals-Analyse die ebenso weit verbreitete, aber historisch ältere *Intelligent-Product-Definition* von MCFARLANE ET AL. (2002, S. 53). Nach dieser Definition ist ein intelligentes Produkt eine physische und Informations-basierte Repräsentation eines Gegenstands für den Einzelhandel, der folgende Merkmale aufweist:

1. besitzt eine eindeutige Identifizierungsmöglichkeit,
2. ist fähig, effektiv mit seiner Umgebung zu kommunizieren,
3. kann Informationen über sich selbst sichern oder speichern,
4. kann eine Sprache anwenden, um seine Eigenschaften, Produktionsanforderungen etc. anzuzeigen
5. ist fähig, an seinem eigenen Schicksal mitzuwirken oder hierfür relevante Entscheidungen zu treffen.

Die Merkmals-Analyse von FILHO ET AL. (2017) zeigte jedoch, dass das erste Merkmal, die eindeutige Identifizierungsmöglichkeit, ein eher wenig beachtetes Merkmal darstellt, während die Merkmale zwei bis fünf gleichmäßig verbreitet waren (Filho et al. 2017, S. 1474).

Aufgrund ihrer gewählten Forschungsdomäne IoT schließen SILVERIO-FERNÁNDEZ ET AL. (2018, S. 4–5) auch *Data Storage* – also Merkmal (3) von MCFARLANE ET AL. (2002, S. 53) – explizit als identifiziertes Merkmal aus, da es sich hierbei um ein eingebettetes Merkmal innerhalb der anderen Merkmale handelt. Ebenso schließen die Autoren *User-interaction* und *Mobility/Portability* als identifizierte zentrale Merkmale aus, da diese ihrem Verständnis von IoT widersprechen: Demnach müssen im Kontext von IoT Geräte nicht zwangsweise portabel konstruiert sein und können auch nur auf die Interaktion mit anderen Geräten statt Nutzern beschränkt sein.

Aus der zusammenführenden Übersicht in Tabelle 17 ergibt sich somit, dass die Fähigkeit der Sammlung (und Nutzung) von Umgebungsinformationen (*Context-Awareness*) und die Interaktion mit Nutzern (*p2u*) und auch zwischen Produkten (*p2p*) die zentralen Merkmale digitalisierter Produkte konstituieren.

Ergänzend werden den digitalisierten Produkten verschiedene Fähigkeiten zugewiesen, die ihre grundsätzliche Fähigkeit der Eigenständigkeit (*Autonomy*) betonen: wie z. B. der eigenständige Netzwerkaufbau oder -beitritt (*Self-Organization*,

Connectivity), ihre eigenständige Einbettung (*Self-Organization, Embedding*) und dynamische Anpassung an Umgebungsveränderungen oder Nutzerreaktionen (*Adaptiveness*) sowie ihre proaktive Nutzeransprache (*Proactivity*). Zur Durchführung dieser Aktivitäten müssen sie ggf. Rückgriff auf Algorithmen der künstlichen Intelligenz (*Artificial Intelligence*) nehmen. Dabei ist die Ausprägungsform der Eigenständigkeit abhängig von der jeweiligen Domäne.

Merkmale		Quellen			
		MÜHLHAUSER (2008)	SABOU ET AL. (2009) und GUTIÉRREZ ET AL. (2013)	McFARLANE ET AL. (2002) und FILHO ET AL. (2018)	SILVERIO-FERNÁNDEZ ET AL. (2018)
Eigenständigkeit	Self-Organization, Embedding: Eigenständiges Einbetten in verschiedene Umgebungen	X	-	-	-
	Self-Organization, Connectivity: Eigenständiger Netzwerkaufbau oder -beitritt	-	X	-	X
	Autonomy: Eigenständige Durchführung von Tätigkeiten	-	-	-	X
	Adaptiveness: Anpassung an Umgebung oder Nutzer-Reaktionen	-	X	-	-
	Proactivity: Proaktives Verhalten (z. B. Nutzeransprache)	X	X	-	-
	Semantic Self-Description	X	-	X	-
	Artificial Intelligence (z. B. für die Fähigkeit eigenständig Entscheidungen treffen zu können)	X	-	X	-
Interaktion	p2u: Produkt-Nutzer-Interaktion	X	X	X	O
	p2p: Interaktion von Produkten untereinander	X	X	X	X
	Multimodale natürliche Interfaces	X	-	-	-
Objekt Eigenschaften	Data Storage: Fähigkeit Daten über sich selbst speichern	-	-	X	O
	Unique Identification: Eindeutige Identifizierung von Objekten	-	-	X	-
	Mobility/Portability: Objekte sind portabel konstruiert	-	-	-	O
Context-Awareness: Fähigkeit Umgebungsinformationen zu sammeln		X	X	-	X
Lebenszyklus-Unterstützung		X	X	-	-
Legende: X in der Literatur enthalten; - nicht explizit enthalten; O explizit ausgeschlossen					

Tabelle 17: Übersicht Merkmale digitalisierter Produkte verschiedener Publikationen

Weniger charakterisierend sind dabei Objekt-Eigenschaften wie z. B. eine eindeutige Identifizierungsmöglichkeit (*Unique Identification*) oder ein Datenspeicher (*Data Storage*).

Nicht berücksichtigt bei den bisherigen populären Definition sind darüber hinaus neuere Aspekte wie z. B. die gemeinsame Werterzeugung von Produzenten und Konsumenten (siehe Smart-Product-Service-Systems in Kapitel 2.3) oder die Betonung ihres hybrider Charakters (Kombination aus digitalen und physischen/mechanischen Komponenten).

Ebenso findet auch keine Betonung ihres in der Literatur oft angemerkten generativen Charakters statt, also die Fähigkeit unerwartete Veränderungen herbeizuführen durch ungefilterte Beiträge von einer breiten und variierenden Zielgruppe (Zittrain 2006, S. 1980; Holler et al. 2018, S. 134). Aus Unternehmenssicht wird jedoch durch den generativen Charakter der Produkte Innovation möglich oder beeinflusst (Yoo et al. 2012, S. 1399–1400). Es ist somit vergleichbar mit dem emergenten, nicht-deterministischen Verhalten, das soziotechnischen Informationssystemen zugeschrieben wird (siehe Kapitel 3.2.1).

Zusammengefasst lässt sich festhalten, dass digitalisierte Produkte soziotechnische Systeme im Sinne der deutschsprachigen Wirtschaftsinformatik (siehe Kapitel 3.2.1) darstellen: Sie weisen menschliche, wie maschinelle Komponenten auf, die zur interaktiven Aufgabenlösung (Einzelprobleme, wie auch Problembereiche) zusammenarbeiten müssen. Sie sammeln, strukturieren, verarbeiten und stellen dafür Informationen zur Kommunikation und für die Nutzung bereit. Sie können dabei verschiedene Aufgaben automatisiert lösen und werden in verschiedene Umgebungen eingebettet. Die Anwendungsdomänen aus Kapitel 2.3 zeigen dabei ihre mannigfaltigen Einsatzbereiche. Sie unterscheiden sich allerdings vor allem von traditionellen Informationssystemen durch ihren hybriden Charakter (mehr hierzu im nächsten Abschnitt), der umfangreichen Kontextwahrnehmung und ihrer ggf. umfangreichen Autonomie.

3.3 Vergleich konzeptioneller Modelle digitalisierter Produkte

Trotz der zentralen Merkmale über die sich verschiedene Definitionen einig sind (vgl. Kapitel 3.2.3), unterscheiden sich digitalisierte Produkte in der Praxis auf den ersten Blick scheinbar deutlich: die Licht- und Energiesteuerung in Privathaushalten stehen im Gegensatz zu augmentierten Gegenständen in Museen, dem Smart

Traffic Management in Städten oder Wearables für die Gesundheits- oder Fitnessüberwachung. Dennoch gibt es auch hier Gemeinsamkeiten, die in der Literatur bereits durch verschiedene konzeptuelle Modelle Ausdruck gefunden haben.

NOVALES ET AL. (2016, S. 4–7) fassen die Charakteristika digitalisierter Produkte in Form von fünf in Beziehung zueinander stehenden konzeptuellen Bausteinen zusammen: *Hybridity*, *Smartness*, *Connectivity*, *Servitization*, *Digitized Product Ecosystem*. Die zentralen Merkmale digitalisierter Produkte aus Kapitel 3.2.3 finden demnach in dem Ansatz Ergänzung durch die Betonung des *hybriden* Charakters (Hybridity) und dem *Ökosystem*-Ansatz (Digitized Product Ecosystem). Mit hybriden Charakter ist hier die Kombination aus digitalen Logik-Komponenten und physischen bzw. mechanischen Komponenten gemeint. Unter dem Ökosystem-Ansatz wird wiederum ein Netzwerk interagierender Akteure zur Kombination von komplementären Produkten und Services oder zur Verbindung mit anderen Ökosystemen verstanden. Mit Ausnahme des zentralen Bausteins *Hybridity*, sind die anderen Bausteine optional und können auch nur partiell in der konkreten Lösung umgesetzt sein. Dabei ist zu beachten, dass die optionalen Bausteine den Produktwert erhöhen können, wenn bestimmte Herausforderungen und Risiken berücksichtigt werden. Der optionale Charakter mehrerer Bausteine erklärt gleichzeitig die verschiedene Ausprägungskombinationen digitalisierter Produkte in der Praxis (Novales et al. 2016, S. 8).

Der Bausteine-Ansatz verdeutlicht, dass neben einem Verständnis von zentralen Merkmalen auch deren Gesamtzusammenhänge verdeutlicht werden müssen, um digitalisierte Produkte ganzheitlich verstehen zu können. Im Folgenden werden daher bekannte konzeptuelle Ansätze vorgestellt und verglichen. Hierbei sei allerdings zu beachten, dass bei den Modellen trotz ähnlicher Begriffe nicht immer das Gleiche verstanden wird, insbesondere bei den englischen Begriffen *Things* und *Devices* (Guth et al. 2016, S. 1).

Das Kapitel deckt damit die Technologiesicht auf den Begriff der digitalisierten Produkte ab und komplementiert damit das Gesamtverständnis. Es schließt mit der Ableitung einer Konzeption digitalisierte Produkte aus den diskutierten Modellen und identifizierten Merkmalen.

3.3.1 Taxonomien

Taxonomien dienen, genauso wie die begrifflich ähnlichen Typologien, zur Klassifizierung von Objekten. Sie stellen damit eine Form des konzeptuellen Wissens dar, welches sowohl in der Forschung wie auch in der Praxis Einsatz finden kann, um komplexe Domänen zu verstehen und zu analysieren (Nickerson et al. 2013, S. 336–338).

Im Unterschied zu Typologien, welche Objekte anhand weniger impliziter oder konzeptuell abgeleiteter Merkmale kategorisieren (*Monothetic Groups, qualitative Klassifikation*), werden bei Taxonomien Objekte anhand dem Grad ihrer numerischen Affinität zueinander basierend auf einer großen Anzahl an Charakteristiken mithilfe von Cluster-Analysen kategorisiert (*Polythetic Groups, quantitative Klassifikation*). In der Praxis werden allerdings oft beide Begriffe fälschlicherweise synonym verwendet, insbesondere da der Begriff Taxonomie sowohl für eine Klassifikation als auch eine Methode steht (Lambert 2015, S. 51–54).

Die folgende Definition und damit das Verständnis der Idee der Taxonomie nach NICKERSON ET AL. (2013, S. 340) ist dabei die Grundlage der im Nachfolgenden vorgestellten Taxonomien für digitalisierte Produkte:

„A taxonomy T is a set of n dimensions D_i ($i=1, \dots, n$) each consisting of k_i ($k_i \geq 2$) mutually exclusive and collectively exhaustive characteristics C_{ij} ($j=1, \dots, k_i$) such that each object under consideration has one and only one C_{ij} for each D_i .“

Taxonomie stellen damit eine Art Zwischenkonzeption zwischen den Definitionen und Merkmalen, wie sie z. B. in Kapitel 3.2.3 für digitalisierte Produkte identifiziert wurden, und den nachfolgenden Architekturmodellen dar. Sie enthalten die Merkmale digitalisierter Produkte, aber auch deren Ausprägungs- und ggf. Kombinationsmöglichkeiten. Dies hat wiederum Einfluss auf die Architektur und die verschiedenen Produktausprägungen.

PÜSCHEL ET AL. (2016) haben im Kontext von IoT eine anwendungsdomänenunabhängige Taxonomie für smarte Dinge entworfen, die in Abbildung 6 dargestellt ist. Dabei erinnert die Darstellung und die Möglichkeit der Variantenbildung an die Kreativitätstechnik des morphologischen Kastens, „eine kombinatorische Matrix zur Generierung von Ideen und Problemlösungen, die sowohl in Form einer Tabelle als auch eines Würfels aufgezeichnet werden kann“ (Mareis 2012, S. 114). Allerdings handelt es sich bei der Taxonomie von PÜSCHEL ET AL. (2016) um keine völlig freie Variantenbildung, da in Bezug auf die Design-Entscheidung Charakteristika einiger Dimension in Abhängigkeit mit Charakteristika anderer Dimensionen stehen (Püschel et al. 2016, S. 7).

Darüber hinaus konnte im Rahmen einer weiteren Studie mittels Cluster-Analyse fünf Cluster digitalisierter Produkte ermittelt werden, die aufzeigen, welche Charakteristika der Taxonomie typischerweise bei digitalisierten Produkten in der Praxis gemeinsam auftreten (Püschel 2019, S. 12). Hierbei ergab sich allerdings kein Ausschluss eines Merkmals in einem Cluster. Vielmehr traten alle Merkmale bis zu einer gewissen prozentualen Verteilung in allen Clustern auf.

Eine ähnliche morphologische Darstellung für Funktionen digitalisierte Produkte findet sich bei SCHUH ET AL. (2019, S. 231). Die meisten dort dargestellten Funktionen und Ausprägungen finden sich dabei direkt oder indirekt bei PÜSCHEL (2019, S. 11) bzw. PÜSCHEL ET AL. (2016, S. 8–12) wieder. Unterschiede gibt es jedoch beim Detailgrad der Dimensionen *Offline Functionality* und *Data Usage*, die bei SCHUH ET AL. (2019, S. 231) durch die folgenden Merkmalsausprägungen detaillierter ausgearbeitet sind:

1. den *Ort der Produktintelligenz* (Embedded, Combined, Outsourced),
2. dem *Ort der Datenspeicherung* (Embedded, Combined, Outsourced) und
3. dem *Grad der Produktintelligenz* (Identification, Data Aggregation, Information Creation, Decision Making)

						Dimension Properties	
		Dimension	Characteristics			Scale	Exclusivity
Service	Ecosystem Integration	None	Proprietary	Open		Ordinal	ME
	Value Proposition	Thing-centric		Service-centric		Nominal	ME
	Offline Functionality	None		Limited		Nominal	ME
Data	Data Usage	Transactional	Analytical (basic)		Analytical (extended)	Ordinal	ME
	Data Source	Thing State	Thing Context	Thing Usage	Cloud	Nominal	NE
Interaction	Partner	User(s)	Business(es)		Thing(s)	Nominal	NE
	Multiplicity	One-to-one		One-to-many		Nominal	ME
	Direction	Unidirectional		Bi-directional		Nominal	ME
Thing	Autonomy	None	Self-Controlled	Self-Learning		Ordinal	ME
	Acting Capabilities	Own		Intermediary		Nominal	NE
	Sensing Capabilities	Lean		Rich		Ordinal	ME

ME: Mutually exclusive NE: Non-exclusive

Abbildung 6: Multi-layer Taxonomy of Smart Things in IoT

Quelle: PÜSCHEL (2019, S. 11)¹¹

Dadurch wird das Merkmal der künstlichen Intelligenz bzw. Eigenständigkeit digitalisierter Produkte mehr verdeutlicht als bei PÜSCHEL ET AL. (2016)/PÜSCHEL (2019). Zum anderen schlägt SCHUH ET AL. (2019, S. 231) ergänzend noch die Art der *Connectivity* (None, Wired, Wireless) als Dimension bzw. Merkmalsausprägungen vor und damit indirekt auch die Möglichkeit der Mobilität des Produktes.

¹¹ Die Erstveröffentlichung der Taxonomie erfolgte zwar in PÜSCHEL ET AL. (2016), allerdings existiert eine überarbeitete Version in der darauf aufbauenden Dissertationsschrift PÜSCHEL (2019), die diverse Änderungen enthält (neue Dimension Autonomy, Umwandlung von Charakteristikum Ecosystem Integration in Dimension, entferntes Charakteristikum Many-to-many) und im Falle der Scale- und Exclusivity-Spalten Änderungen, die auf Fehlerbehebungen hindeuten, weshalb die Taxonomie-Darstellung der Dissertation als Abbildung gewählt wurde.

Die Taxonomien berücksichtigen damit die meisten der identifizierten zentralen Merkmale digitalisierter Produkte. Im Gegensatz zu den nachfolgenden Architekturmodellen berücksichtigen sie auch explizit die Nutzer-Interaktion wie auch die Produkt-Interaktion. Allerdings werden das proaktive Verhalten, die Anpassungsfähigkeit an die Umgebung bzw. Nutzer-Reaktionen sowie die Abhängigkeit der Komponenten bzw. Merkmale untereinander weniger deutlich dargestellt.

3.3.2 Architekturmodelle und Frameworks

Architekturbeschreibungen werden für unterschiedliche Zwecke und in verschiedenen Kontexten genutzt, um den Informationsbedarf unterschiedlicher Stakeholder-Gruppierungen zu decken. Hierzu zählen (Smolander 2002, o. S.):

- *Architecture as Blueprint*: Blaupause für die Implementierung,
- *Architecture as Literature*: zur Dokumentation des Systems für zukünftige Entwickler (vgl. Referenzarchitektur, Product Line Architektur, Architektur Frameworks),
- *Architecture as Language*: zur Kommunikation mit anderen Stakeholdern,
- *Architecture as Decision*: zur Erfassung von Entscheidungen, z. B. hinsichtlich der zukünftigen Struktur des Systems, um Ressourcen und Strategien zu planen.

Für die Definition von Architektur bietet der internationale ISO/IEC/IEEE-Standard eine sehr offene Definition auf einem hohen Abstraktionsniveau, die Architektur wie folgt versteht (ISO/IEC/IEEE 42010:2011, S. 2):

„fundamental concepts or properties of a system in its environment embodied in its elements, relationships, and in the principles of its design and evolution“

Weder in der Wirtschaftsinformatik/Information-Systems-Research-Forschung noch in der Praxis existiert allerdings ein einheitlicher Architekturbegriff. SCHEIL (2008, o. S.) identifizieren hier zwei sich unterscheidende, aber nicht gegenseitig ausschließende Strömungen, in die sich viele Definitionen einordnen lassen:

1. *Software-Architektur-Strom*: der Fokus liegt hier auf der deskriptiven Beschreibung der strukturellen Eigenschaften von Software insb. zu Dokumentationszwecken (vgl. *Architecture as Literature*, *Architecture as Blueprint*);
2. *Business-Architektur-Strom* (auch bekannt als Enterprise Architecture und gelegentlich Information Systems Architecture): der Fokus liegt hier auf der Wertgenerierung für das Unternehmen zur strategischen Planung. Hierfür werden der Kontext einer Applikation bzw. die Interrelationen zwischen Business-Komponenten berücksichtigt. Weniger wird hier auf die Strukturen der Software eingegangen (vgl. *Architecture as Language*, *Architecture as Decision*).

Aufgrund des sozio-technischen Informationssystem-Verständnis der Wirtschaftsinformatik und der gemeinsamen Gestaltungsobjekte stehen die Informationssystem-Architektur und die Unternehmensarchitektur in enger Beziehung (Sinz 2019, o. S.). Daher verschmelzen sie in der Literatur wohl zu einem Strom.

Unternehmensarchitekturen werden z. B. im Bereich der IT-Strategie-Planung, des IT/Business-Alignments oder der Prozessoptimierung eingesetzt und können Gestaltungsobjekte aus den Bereichen der Positionierung zu Kunden, der Aufbau- und Ablauforganisation oder der Daten- und Softwarearchitektur enthalten (Aier et al. 2008, S. 292–299). Insbesondere die Anwendungsarchitektur, die Geschäftsarchitektur und die Informationsarchitektur stellen dabei die wichtigsten Ebenen der Unternehmensarchitektur dar (Simon et al. 2013, S. 16).

Informationssystem-Architekturen sollen dagegen ebenfalls die Belange der Führungsebenen des Unternehmens (*Vertical Completeness*) beinhalten und horizontale Bereiche des Unternehmens und Technologien (*Robustness*) berücksichtigen. Sie sollen überdies für verschiedene Stakeholder verständlich (*Comprehensibility*) und einfach zu nutzen bzw. anzupassen sein (*Flexibility*) (Guthery und Eck 1990, S. 185–187).

Auch wenn die Informationssystem-Architektur als untergeordnete Teilmenge der Unternehmensarchitektur und die Anwendungssystem- bzw. Softwarearchitektur als Teilsystem der Informationssystem-Architektur verstanden werden kann, lassen sich „viele der gebräuchlichen Methoden, Modelle und Werkzeuge [...] für die Gestaltung aller drei genannten Architekturen einsetzen“ (Sinz 2019, o. S.).

Aufgrund jedoch des nicht eindeutig und einheitlich festgelegten Begriffsverständnisses existieren nicht nur unterschiedliche Modelle hinsichtlich ihrer Gestaltungsobjekte, sondern auch auf unterschiedlichen Abstraktionsebenen (vgl. hierzu auch die Sammlung von Software-Architektur-Definitionen des SOFTWARE ENGINEERING INSTITUT (2017)). Daher können die im Nachfolgenden vorgestellten Modelle ebenfalls als Architekturmodelle verstanden werden, obwohl sie ein sehr hohes Abstraktionsniveau aufweisen und damit von einem engen Verständnis abweichen.

Layered Modular Architecture und Technology Stack

Die bekanntesten Architekturmodelle im Bereich digitalisierter Produkte stammen von YOO ET AL. (2010, S. 726–727) und PORTER UND HEPPELMANN (2014b, S. 39). Sie bilden die Grundlage für viele weitere Modelle, auch für viele der in diesem Kapitel angeführten konzeptionellen Modelle. Beide Modelle sind in Abbildung 7 dargestellt.

Das Modell von YOO ET AL. (2010, S. 726–727) ist allerdings nicht für digitalisierte Produkte angedacht, sondern für digitale Technologien. Die Autoren sehen daher ihren Modellvorschlag auch nur als Zwischenschritt zur *Layered Modular Architecture* für die Digitalisierung physischer Produkte, die sie allerdings nie beschrieben haben. Als zentrales Merkmal sieht die *Layered Architecture* von YOO ET AL. (2010, S. 726–727) vor, dass Komponenten-Design-Entscheidungen auf jeder Ebene (*Layer*) möglichst unabhängig von den anderen Ebenen getroffen werden können. Durch die Kombination verschiedener Komponenten aus verschiedenen Ebenen wiederum sollen sich innovative, alternative digitale Produkte ergeben.

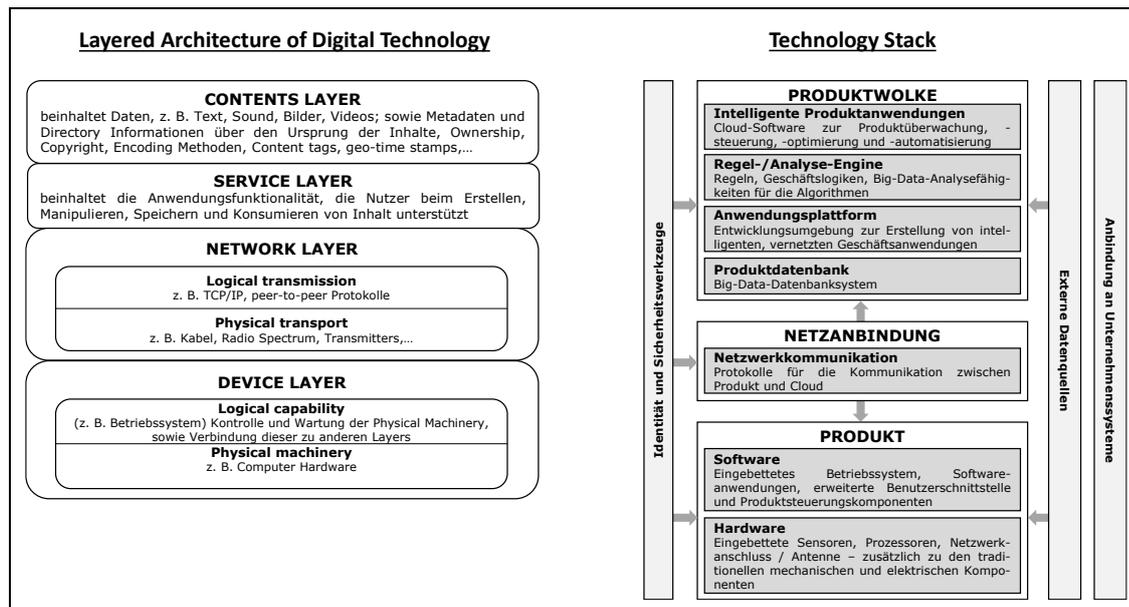


Abbildung 7: Layered Architecture of Digital Technology und Technology Stack of smart, connected products

Quelle: in Anlehnung an YOO ET AL. (2010, S. 726–727) und PORTER UND HEPPELMANN (2014b, S. 39)

Der *Technology Stack* (übersetzt auch als Technologieinfrastruktur) von PORTER UND HEPPELMANN (2014b, S. 38–39)¹² verfolgt das Ziel Unternehmen beim Aufbau der Technologieinfrastruktur für digitalisierte (und vernetzte) Produkte zu unterstützen. Das Modell ist der Forschungsdomäne IoT zugeordnet. Es weist trotz unterschiedlicher Betrachtungsobjekte (digitale Produkte im Gegensatz zu digitalisierte Produkten) einige Überschneidungen mit der *Layered Architektur* von YOO ET AL. (2010, S. 726–727) auf:

- Der Bereich *Produkt* mit entsprechender Soft- und Hardware des Technology Stacks entspricht dem *Device Layer* der Layered Architecture.

¹² Aufgrund der deutschen Sprache der vorliegenden Arbeit wurde im Rahmen dieses Kapitels auf die offizielle deutsche Übersetzung, PORTER UND HEPPELMANN (2014b), des originär englischen Artikels PORTER UND HEPPELMANN (2014a) zurückgegriffen.

- Der Bereich *Netzanbindung* des Technology Stacks entspricht dem *Network Layer* der Layered Architecture.
- Der *Service Layer* der Layered Architecture findet sich im Bereich der *Software* des Produktblocks des Technology Stacks wieder.

Einige Bereiche des Technology Stacks finden allerdings keine Entsprechungen in der Layered Architecture. Hierzu gehören die folgenden Bereiche und Erweiterungen:

- Intelligente Produktanwendungen,
- Regel-/Analyse-Engine,
- Anwendungsplattform,
- Identitäts- und Sicherheitswerkzeuge,
- externe Datenquellen und
- Anbindung an Unternehmenssysteme.

Lediglich die *Produktdatenbank* im Contents Layer des Technology Stacks lässt sich in der Layered Architecture wiederfinden. Die Unterschiede resultieren möglicherweise aus den unterschiedlichen Betrachtungsobjekten der Modelle, da hierbei insbesondere die Bereiche betroffen sind, die für das ‚intelligente‘ Verhalten der Produkte und für die Netzanbindung zuständig sind. Beides sind Aspekte, die im IoT und damit dem Technology Stack eine tragende Rolle zukommen im Gegensatz zur eher an das Pervasive Computing orientierten Layered Architecture.

Beide Modelle verzichten jedoch auf eine konkrete Darstellung der menschlichen Komponente und der Interaktion mit dieser, wie es das Informationssystem-Verständnis und die zentralen Merkmale digitalisierter Produkte vorsehen. Auch die Beziehung zur physischen Produkt-Umgebung, die für die Kontext-Wahrnehmung und die proaktive Ansprache notwendig ist, wird höchstens angedeutet, aber nicht eindeutig dargestellt.

Wertschöpfungsstufen einer Anwendung im IoT

Weniger bekannt ist das *Architekturmodell der Wertschöpfungsstufen einer Anwendung im IoT* von FLEISCH ET AL. (2015, S. 446–447), das in Abbildung 8 dargestellt ist. Ziel des Modells ist die Darstellung der Digitalisierung physischer Gegenstände durch die Ergänzung von IT auf mehreren Wertschöpfungsstufen.

Anders als YOO ET AL. (2010, S. 727) betonen die Autoren, dass die Ebenen „*nicht unabhängig voneinander erstellt werden können*“ (Fleisch et al. 2015, S. 447). Stattdessen sollen die Ebenen integriert miteinander betrachtet bzw. entwickelt werden, was sich in der Darstellung durch die bidirektionalen Pfeile äußert.

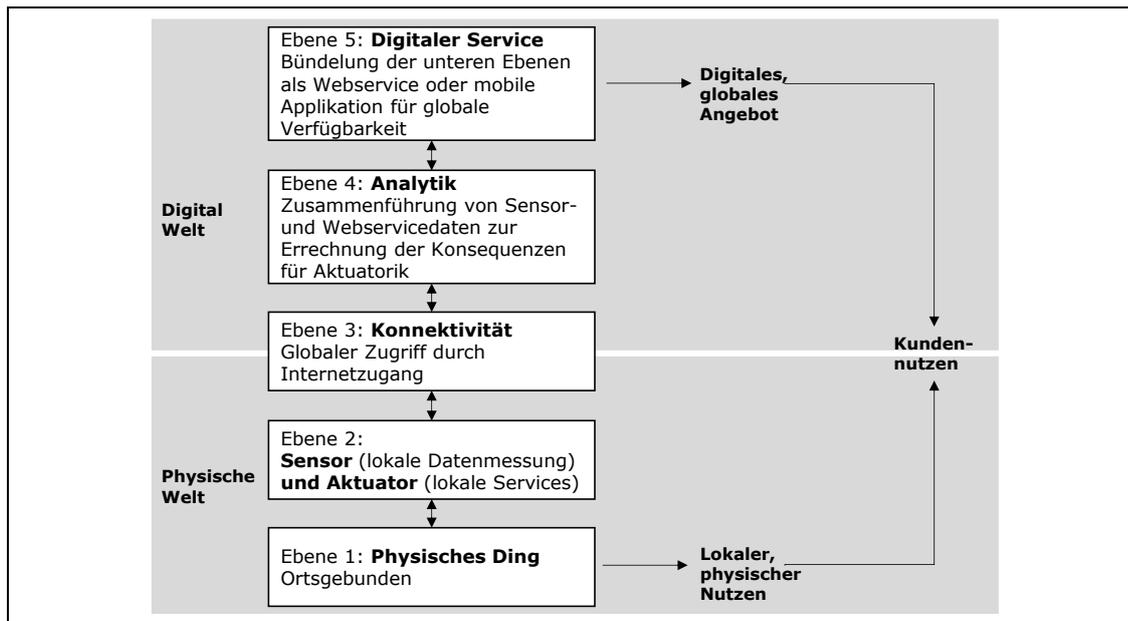


Abbildung 8: Wertschöpfungsstufen einer Anwendung im IoT

Quelle: in Anlehnung an FLEISCH ET AL. (2015, S. 447)

Weitere Unterschiede zum Technology Stack und der Layered Architecture bestehen in der getrennten Darstellung des physischen Gegenstandes und der Sensoren und Aktuatoren (siehe Abbildung 8), wodurch die klassische, physische Produktentwicklung mehr Betonung findet. Der Technology Stack von PORTER UND HEPPELMANN (2014b, S. 39) weist dagegen durch die Aufteilung des Produktes in Soft- und Hardware eine klassische Softwareentwicklungsperspektive auf.

Darüber hinaus findet im Modell der Wertschöpfungsstufen, wie in Abbildung 8 zu erkennen, die menschliche Komponente Ausdruck in Form des Kundennutzes, auch wenn die konkrete Interaktion auch hier nicht eindeutig dargestellt ist. Die explizite Berücksichtigung der Wertschöpfung und des Kundennutzens zeigen zudem eine Tendenz zur jüngeren Domäne der Service Science (vgl. Kapitel 2.3) auf. Allerdings wird die charakteristische Co-Creation der Service Science und damit das moderne Verständnis digitalisierter Produkte nicht vollständig erfasst.

Die Produktumgebung wird hier durch die Aufteilung in die digitale und physische Welt zwar etwas konkreter dargestellt als im Technology Stack oder der Layered Architecture, aber die Interaktion von Produkten untereinander findet dagegen keine Berücksichtigung.

IoT-Referenzarchitektur

Um der Heterogenität der Architekturmodelle entgegen zu wirken, die mit zunehmenden Detailgrad steigt, haben GUTH ET AL. (2016, S. 1–2) ebenfalls für den Forschungsbereich IoT eine vereinfachte, stark abstrahierte Referenzarchitektur

entwickelt, die in Abbildung 9 dargestellt ist. Die Autoren verzichten bei ihrer Darstellung explizit auf Kardinalitäten der Pfeile und betonen, dass einzelne Komponenten abhängig von der konkreten Ausprägung ausgelassen werden können (z. B. Aktuatoren). Auf diese Weise versuchen sie eine gewisse Flexibilität der Ausgestaltung zu erfassen.

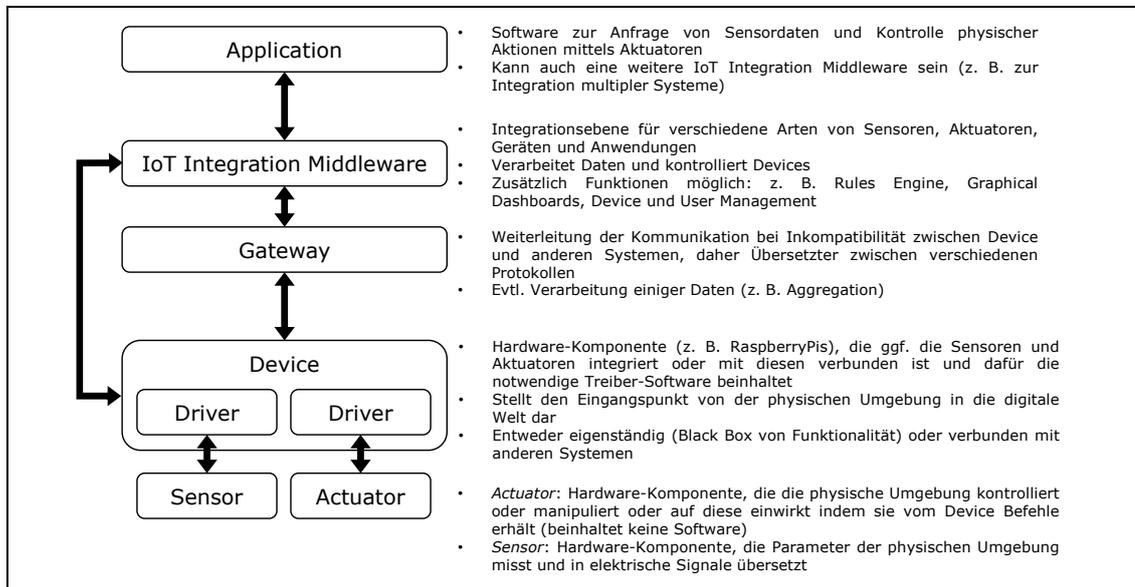


Abbildung 9: IoT-Referenzarchitekturmodell

Quelle: in Anlehnung an GUTH ET AL. (2016, S. 2)

Dabei bleibt auch in diesem Modell die Produkt-Nutzer-Interaktion oder neuere Merkmale wie die Co-Creation der Service Science unberücksichtigt. Weitere Merkmale digitalisierter Produkte wie z. B. Künstliche Intelligenz, Eigenständigkeit und Proaktivität finden sich nur durch die Erwähnung einer möglichen Regel-Engine im begleitenden Text. Der hohe Abstraktionsgrad ermöglicht demnach zwar ein schnelleres Verständnis der grundsätzlichen Architektur und der Zusammenhänge verschiedener Komponenten, viele zentrale Merkmale digitalisierter Produkte bleiben dadurch jedoch unberücksichtigt oder werden nur indirekt ausgedrückt.

Framework für smarte Service Systeme

LIM UND MAGLIO (2018, S. 167–170) wiederum schlagen ein Framework für smarte Service Systeme vor, dessen Kern fünf Dimensionen darstellen – die sogenannten 5Cs – und in Abbildung 10 dargestellt ist. Das Ziel bzw. der zentrale Einsatzzweck (*Application Objective*) smarterer Service Systeme wird durch die Dimension *Value Co-Creation* repräsentiert, die anderen vier Dimensionen (*Connection, Collection, Computation, Communications*) stellen die technologischen Ressourcen hierfür dar.

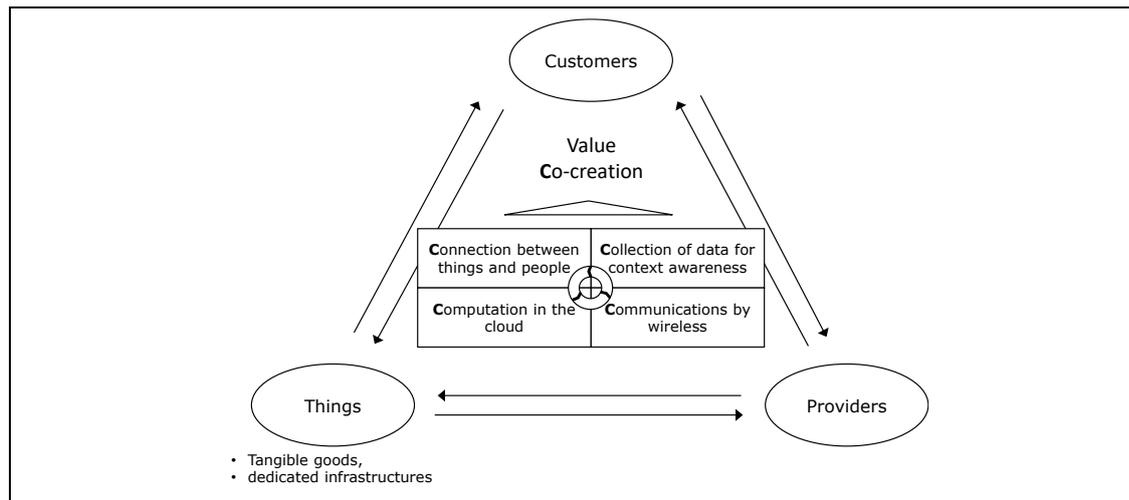


Abbildung 10: Konzeptuelles Framework für smarte Service Systeme

Quelle: in Anlehnung an LIM UND MAGLIO (2018, S. 168)

Nicht dargestellt in der Abbildung, aber im beschreibenden Text erwähnt, ist die Verbindung nicht nur zwischen Dingen und Personen, sondern auch zwischen Dingen. Darüber hinaus weisen die Autoren darauf hin, dass *Sensing* als Kernstück der Datensammlung auch die Sammlung von Daten aus dem sozialen Bereich (*Social Sensing*) inkludiert: z. B. Daten aus sozialen Netzwerken, Umfragen, Interviews oder Dokumenten. Für zukünftige Weiterentwicklungen sind z. B. die Ergänzung um weitere Cs (z. B. *Control* und *Care*) angedacht.

Die Value Co-Creation als zentraler Einsatzzweck spiegelt damit die Domäne der Service Science (siehe hierzu Smart Service Systeme in Kapitel 2.3), auf deren Grundlage das Modell gedacht ist, wieder. Die Einbeziehung von Wertschöpfung und Wertversprechen finden sich auch teilweise in den anderen Architekturmodellen wieder, auch wenn diese Modelle selbst nicht direkt der *Service Science* zugeordnet werden, allerdings nicht so deutlich und fokussiert wie hier.

Während auch dieses Modell Context-Awareness und Netzwerk-Aspekte von digitalisierten Produkten berücksichtigt, bleibt der Aspekt der Eigenständigkeit (Autonomy, Adaptiveness, Proactivity, etc.) im Modell unberücksichtigt.

Zusammengefasst kann konstatiert werden, dass kein Architekturmodell alle zentralen und erweiterten Merkmale digitalisierter Produkte in ihrer jeweiligen Darstellung berücksichtigen. Gleichzeitig zeigt sich durch die Betonung bestimmter Forschungsdomänen-Merkmale, dass die Modelle Domänen-abhängig sind. Dennoch können aus jedem Modell zu berücksichtigende Abhängigkeiten und Komponenten abgeleitet werden.

3.3.3 System-of-Systems-Ansatz

Der Ökosystem-Ansatz fand bereits zu Beginn des Kapitels 3.3 bei der Darstellung des Bausteine-Konzepts für die Charakteristika digitalisierter Produkte von NOVALES ET AL. (2016, S. 4–7) Erwähnung. Im Ansatz des *System-of-Systems* nach PORTER UND HEPPELMANN (2014a, S. 74–75) wird dieser näher konkretisiert. Die Idee des System-of-Systems-Ansatzes (auch *Collaborative Systems*, *Federated Systems* oder *System-of-Interest*) ist dabei nicht neu und MAIER (1998, S. 284) sah bereits frühzeitig den Ansatz als Grundlage für die Entwicklung smarterer Systeme.

Ein System-of-Systems stellt dabei einen Komponenten-Verbund dar, bei dem die einzelnen Komponenten als Systeme betrachtet werden können. Die Komponenten können allerdings auch unabhängig vom Verbund arbeiten (*Operational Independence*) und sind somit weiterhin operativ unabhängig vom Verbund (*Managerial Independence*) (Maier 1998, S. 271). Der Verbund selbst ist dabei mehr als nur die Verbindung der Komponenten. Der Mehrwert (z. B. Funktionalität), der durch das System-of-Systems entsteht, soll bei einem System-of-Systems größer als die Summe seiner Teile bzw. Komponentensysteme sein (Gideon et al. 2005, S. 358; Boardman und Sauser 2006, S. 121; Mennenga et al. 2019, S. 637). Ferner kann es sich bei den Komponenten-Systemen um neue wie auch bereits existierende Systeme (*Legacy Systems*) handeln (Boardman und Sauser 2006, S. 118). Damit die Komponenten-Systeme jedoch miteinander interagieren können, müssen Sie in der Lage sein, mit ihrer Umgebung interagieren zu können (Gideon et al. 2005, S. 358), weswegen bestehende Systeme ggf. in begrenztem Maße angepasst werden müssen (Boardman und Sauser 2006, S. 119).

Die aktuelle Definition der ISO/IEC/IEEE 24765:2017(E) (ISO/IEC/IEEE 24765:2017(E), S. 452) definiert das Konzept des System-of-Systems daher als „*system-of-interest [...] whose elements are themselves systems*“ und „*large system that delivers unique capabilities, formed by integrating independently useful systems*“.

Bei System-of-Systems handelt es sich daher in der Regel um von Menschen geschaffene, dynamische und offene Verbund-Systeme (Gideon et al. 2005, S. 358). Die entstehenden Verbund-Systeme weisen dementsprechend inhärent Redundanz auf und sind daher in ihrer Entwicklung zumeist teurer als ein System ohne Komponentenverbund. Sie entstehen daher teilweise zufällig und werden nur dann bewusst entwickelt, wenn die Vorteile das Ziel der Kostenminimierung überwiegen (Maier 1998, S. 272).

Neben der inhärenten Redundanz unterscheiden sich System-of-Systems vom allgemeinen System-Verständnis und damit anderen großen Systemen, wie sie traditionell im Bereich des Systems Engineerings entwickelt werden, auch in den folgenden Bereichen (Boardman und Sauser 2006, S. 119–121):

- *Autonomy*: Komponentensysteme behalten ihre Autonomie,
- *Belonging*: Komponentensysteme entscheiden sich auf Basis einer Kosten/Nutzen-Entscheidung für eine Teil-Zugehörigkeit,
- *Connectivity*: Verbindungen zwischen den Komponentensystemen werden dynamisch nach Bedarf (Echtzeit) durch die Systeme geschlossen,
- *Diversity*: Hohe Diversität der System-of-Systems-Fähigkeiten im Gegensatz zu den limitierten Fähigkeiten der Komponentensysteme, um verschiedenen Bedarfen, Unsicherheit und disruptiver Innovation begegnen zu können,
- *Emergence*: System-of-Systems weisen aufgrund nicht vorhersehbarer Events und notwendiger Funktionalität eine hohe Emergenz auf; unerwünschtes Verhalten kann daher zumeist erst zur Laufzeit identifiziert und behandelt werden.

Folglich unterscheiden sich System-of-Systems auch untereinander. Sie können aber anhand ihrer Ausprägungen u. a. in den Bereichen *Objective* (individual, shared, global), *Management* (centralized, collaborative, local), *Durability* (permanent, episodic, prepared, phased) oder *Focus* (capability-based, function-based, service-based, resource-based) klassifiziert werden (Mennenga et al. 2019, S. 638).

Aus Design-Perspektive empfiehlt MAIER (1998, S. 272–283) daher, dass System-of-Systems in jeder intermediären Form der Evolution stabil (*technically, economically* und *politically self-supporting*) sein müssen, unabhängig davon, ob diese dynamisch und ohne Ziel entstehen (*Stable Intermediate Forms*). Gleichzeitig haben System-Designer aufgrund der inhärenten Eigenschaften der System-of-Systems nur bedingt Möglichkeiten Einfluss auf das Design zu nehmen, weswegen die Einflussnahme vorsichtig abgewogen werden muss (*Policy Triage*). Dabei wird die Einflussnahme bei System-of-Systems maßgeblich über das Interface-Design vollzogen (*Leverage at the Interface*), da die damit definierte Kommunikation bzw. Kommunikationsstandards zwischen den Systemen im Grunde die Architektur bildet (*Interfaces/Intersystem Communications are the Architecture*). Da System-of-Systems auf der freiwilligen Kollaboration der Komponenten basiert, müssen darüber hinaus Anreize und Vorteile für eine Kollaboration der Komponenten beim

Design berücksichtigt bzw. entsprechend geschaffen werden (*Ensuring Collaboration*) (Maier 1998, S. 272–283)

Im Kontext digitalisierter Produkte verstehen PORTER UND HEPPELMANN (2014a, S. 75) System-of-Systems als „a set of disparate product systems as well as related external information that can be coordinated and optimized, such as a smart building, as smart home, or a smart city“.

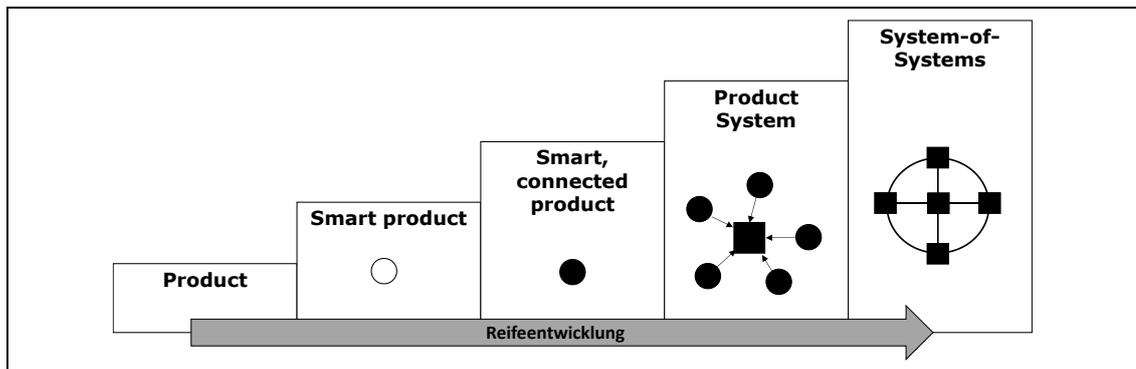


Abbildung 11: Weiterentwicklung vom Produkt zum System-of-Systems

Quelle: eigene Darstellung basierend auf

PORTER UND HEPPELMANN (2014a, S. 74–75) und ZHENG ET AL. (2019, S. 6)

In ihrer zugrunde liegenden Definition, wird deutlich, dass PORTER UND HEPPELMANN (2014a, S. 75) die Anwendungsdomänen selbst (z. B. Smart Building, Smart Home und Smart City) als System-of-Systems und damit als Endziel einer Reifeentwicklung über mehrere Schritte (siehe Abbildung 11) verstehen. Als Reifeebenen unterscheiden sie dabei (Porter und Heppelmann 2014a, S. 74–75; Zheng et al. 2019, S. 5–6):

1. **Smart Product:** Ausgangspunkt der Betrachtung ist dabei das ursprüngliche, ggf. rein physisches Produkt, das durch rudimentäre analytische Auswertungen zu einem in ersten Ansätzen intelligenten Produkt ergänzt werden kann.
2. **Smart, connected Product:** Erst durch weitere Komponenten und einer Infrastruktur entwickelt sich aus dem intelligenten Produkt ein intelligentes, vernetztes Produkt, das den in Kapitel 3.2.3 definierten Eigenschaften eines digitalisierten Produktes entspricht. Damit stellt diese digitalisierte Produktlösung (digitalisiertes Produkt, zugehörige Services und Infrastruktur) die eigentlich *erste Ebene der Reifeentwicklung* digitalisierter Produkte dar, die dadurch individuelle Kundenbedürfnisse befriedigen kann.
3. **Smart Product-Service System** bzw. **Product System:** Die Produktfamilie ist gekennzeichnet durch die systematische Integration mehrere digitalisierter Produktlösungen, der Involvierung verschiedener Stakeholder und der Nutzung Plattform-basierter intelligenter Systeme. Sie stellt dadurch die *zweite Reifeebene* dar.

4. **System-of-Systems:** Die Kombination verschiedener Produktfamilien und verknüpfter Unterstützungssystemen stellt die abschließende *dritte Reifeebene* dar.

Jede Ebene der Reifeentwicklung baut hierfür auf der jeweiligen darunter liegenden Ebene auf und weist so eine höhere Reife als die darunter liegende Ebene auf.

Durch die Reifebetrachtung mit dem Endziel des System-of-Systems lässt sich weiter nachvollziehen, warum verschiedene Definitionen digitalisierter Produkte unterschiedliche Charakteristika aufweisen. Die unterschiedlichen Definitionen betrachten u. U. unterschiedliche Zwischen- bzw. Reifestufen digitalisierter Produkte und fokussieren dadurch auf verschiedene Merkmale dieser bzw. lassen andere Merkmale dadurch aus. Der System-of-Systems-Reifeansatz bietet daher neben der Zugehörigkeit zu einer Domäne eine weitere Klassifikationsmöglichkeit für Definitionen digitalisierter Produkte.

3.3.4 Ableitung einer Konzeption digitalisierte Produkte als System-of-Systems

In Abbildung 12 findet sich eine grafische Zusammenfassung der vorangegangenen Modelle und identifizierten Merkmale digitalisierter Produkte, die gleichzeitig das Verständnis der vorliegenden Arbeit abbildet.

Dabei stellt die Abbildung als Ganzes betrachtet einen *System-of-Systems*-Ansatz dar. Im Zentrum steht dabei das digitalisierte, realweltliche Objekt (*Hybrid Thing, S1-Sm*), das mittels Sensoren Informationen über seinen eigenen Zustand, seinen Kontext/lokale Umgebung(en) oder seine Nutzung erfassen und sammeln kann. Aktuatoren ermöglichen eine sich daraus ergebende etwaige Manipulation der realweltlichen Umwelt. Zusätzliche Soft- und Hardware-Komponenten ermöglichen wiederum eine (proaktive) Kommunikation mit anderen Objekten oder Nutzern und je nach Ausprägung einen mehr oder weniger hohen Grad der Autonomie. Das Objekt kann dabei mobil oder fest eingebettet in die realweltliche Umwelt (*Local Environment*) sein.

Mehrere digitalisierte Produkte können zusammen ein (intelligentes) Produkt-Ökosystem (*(Smart) Product Ecosystem*) bilden, bei dem die digitalisierten Produkte untereinander im Daten- bzw. Service-Austausch stehen. Das Ökosystem-Verständnis basiert dabei auf dem Verständnis nach GUGGENBERGER ET AL. (2020, S. 7–8), das sich auf die notwendigen Charakteristika von Ökosystemen in der Information Systems Research stützt: *Distinct Roles, Innovation, Value Creation, Interaction, Co-Evolution*.

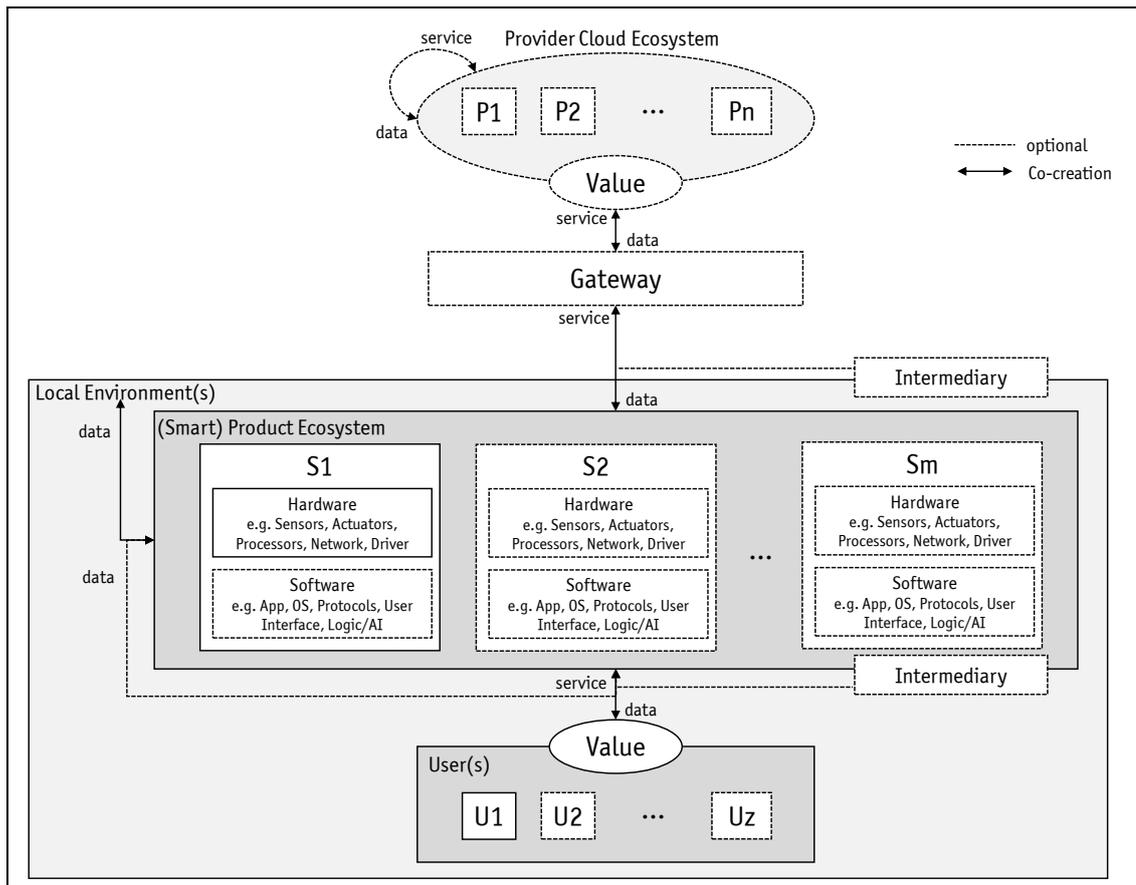


Abbildung 12: Konzeption digitalisierter Produkte im Kontext eines System-of-Systems-Ökosystems als Basis dieser Arbeit

Die Kommunikation bzw. der Austausch von Daten erfolgt entweder direkt zwischen zwei Objekten bzw. mit den Nutzern oder durch einen lokalen Intermediären (*Intermediary*), der ebenfalls direkt oder über ein Netzwerk angesprochen werden kann. Der Intermediär kann auch für eine Verbindung zu einem Cloud-Netzwerk eingesetzt werden. In der Praxis werden beispielsweise vermehrt Smartphones und Tablets als Intermediäre verwendet, um eine Internet-Verbindung für das digitalisierte Produkt bereitzustellen (Püschel et al. 2016, S. 13).

Ein *Gateway* ermöglicht die Verbindung mit einem größeren (Cloud-)Netzwerk zum Austausch mit verschiedenen anderen Akteuren/Providern (*Provider Cloud Ecosystem, P₁ ... P_n*). Provider stellen Akteure dar, die die eigentlichen Anbieter des digitalisierten Produktes sein können als auch Drittanbieter bzw. Kooperationspartner des Herstellers. Provider sind somit für die eigentliche Produktion, den Vertrieb und die Wartung im Rahmen des Produktionszyklus verantwortlich. Daneben stellen sie den Nutzern digitalisierter Produkte weitere Dienstleistungen (*Services*) in Form von Daten, Funktionen (z. B. Identitätsprüfung), Rechenleistung (z. B. für anspruchsvolle Algorithmen) oder des Zugriffs auf andere (komplementäre) Produkte zur Verfügung. Sie erweitern dadurch die

Produktfunktionalität. Dabei können die Akteure des Provider Cloud Ecosystems ggf. ebenfalls im Austausch untereinanderstehen.

Das digitalisierter Produkt (oder das Produkt-Ökosystem) erzeugt wiederum gemeinsam mit den Nutzern (*Users, U₁... Z_u*) einen Mehrwert für die Nutzer (*Value*). Liegt eine Anbindung an das Provider Cloud Ecosystem vor, nehmen die damit verbundenen Akteure ebenfalls an der gemeinsamen Werterzeugung teil. Meist ist dies nur durch eine bidirektionale Verbindung möglich, da die Nutzer ggf. entsprechende (persönliche) Daten für diese Services zur Verfügung stellen müssen, welche wiederum einen Wert für die Provider-Seite darstellen. Nutzer und Provider werden dadurch beide zu Datenquellen, Wertgenierer und Wertnutzer (*Value Co-Creation*).

Die für das digitalisierte Objekt wichtigen *analytischen Berechnungen (Smartness)* können lokal beim Objekt selbst verordnet sein, bei anderen lokalen Objekten, beim Intermediären oder durch die Provider zur Verfügung gestellt werden. Einen fest zugewiesenen Ort gibt es derzeit im Rahmen der verschiedenen Ansätze digitalisierter Produkte nicht, da dies zum Teil auch vom Umfang der notwendigen Berechnungen abhängig ist.

3.4 Ermittlung der Herausforderungen digitalisierter Produkte

Je nach Anwendungs- und Forschungsbereich gibt es aus Anwender- und Unternehmenssicht unterschiedliche Gründe für die Nutzung (und Produktion)¹³ von digitalisierten Produkten. Neben der initialen, schnell befriedigten Neugier in Bezug auf neuartige Produkte stellt aus Anwendersicht die direkte Nützlichkeit und damit verbundene Vorteile – oder zumindest die Hoffnung auf eine potentielle zukünftige Nützlichkeit – die zentrale Motivation dar (Lazar et al. 2015, S. 640–641). Dagegen sind aus Unternehmenssicht in der Rolle als Produzent die Möglichkeit neue Märkte, Segmente bzw. Zielgruppen ansprechen zu können, einen Wettbewerbsvorteil zu erzielen, die Produktattraktivität zu erhöhen, mehr Informationen sammeln zu können (z. B. um die Produkte zu verbessern) oder die Nutzung als Marketinginstrument Gründe für die Entwicklung und Produktion digitalisierter Produkte (Roecker et al. 2017, S. 4–5).

Dennoch hindern verschiedenartige Herausforderungen bzw. Problemstellungen Unternehmen daran, digitalisierte Produkte herzustellen oder diese selbst, z. B. im

¹³ Anmerkung: die Klammer soll hier die doppelte Rolle für Unternehmen verdeutlichen, da Unternehmen, z. B. im Rahmen von Industrie 4.0, sowohl Nutzer von digitalisierten Produkten, als auch Hersteller von digitalisierten Produkten sein können.

Rahmen der Produktion, einzusetzen. Gleichermaßen betroffen sind auch die Endkunden, deren Erwerb oder langfristige Nutzung durch die ungelösten Herausforderungen beeinflusst werden

PÜSCHEL ET AL. (2016, S. 13–15) zeigen bei der Evaluation ihres Taxonomie-Modells auf, dass das Potential smarterer Dinge in den umgesetzten Lösungen noch nicht vollständig erreicht ist. Es existieren Lücken in den Bereichen der Kompatibilität, der Thing-to-Thing-Interaktion, der Ökosystem-Integration und bei den erweiterten analytischen Fähigkeiten.

STREITZ (2019, S. 792–803) weist darüber hinaus auf grundsätzliche Problem- bzw. Fragestellung des Smart-Everything-Paradigmas aufgrund der Technologie- statt Nutzer-getriebenen Perspektive hin: So steht der zunehmenden Automatisierung der zunehmende Verlust der (Nutzer-)Kontrolle und dem zunehmenden intelligenten Verhalten der zunehmende Verlust der Privatsphäre gegenüber. Der Kontroll- und Privatsphäre-Verlust kann dann zu mannigfaltigen weiteren Herausforderungen führen (z. B. falsche Daten werden an verschiedene Behörden ohne Nutzerkontrolle gesendet). Dadurch werden schließlich Fragen wie z. B. hinsichtlich Verantwortung und Haftung (im Schadensfall) und Möglichkeiten der Transparenz und Rückverfolgbarkeit aufgeworfen.

Dabei ist STREITZ (2019, S. 792–803) zufolge die damit in Zusammenhang stehende sogenannte künstliche Intelligenz ein fluides Konzept, dessen Bedeutung im Zeitablauf einer sich ständig verändernden Definition gegenübersteht. Die mit der künstlichen Intelligenz in Verbindung stehenden Algorithmen erzeugen bis heute bei kleinsten Abweichungen Fehlverhalten, die wiederum zu teils erheblichen bzw. dramatischen Konsequenzen führen können (z. B. beim autonomen Fahren). Weswegen der Autor konstatiert, dass eine gewisse Balance zwischen menschlicher Kontrolle und automatisierten Verhalten und gesammelten Daten, Konfigurationsmöglichkeiten für den Grad der Automatisierung, Transparenz in Bezug auf Daten und Flexibilität der Systeme notwendig sind.

In diesem Kapitel werden daher die mit digitalisierten Produkten verbundenen Herausforderungen mittels einer narrativen Literaturanalyse zusammengeführt und kategorisiert. Die Literaturanalyse soll zu diesem Zweck den folgenden Fragen nachgehen:

- Welche (domänenspezifischen und domänenübergreifenden) Problemstellungen weisen digitalisierte Produkte auf?
- Welche Komponenten digitalisierter Produkte sind hierbei von welchen Problemstellungen betroffen?

Ferner liegt der Fokus der Literatursuche auf wissenschaftlichen Zeitschriften und Konferenzen. Andere Literaturquellen (z. B. Monografien) sind aufgrund ihres längeren Publikationsweges eher ungeeignet, um die Herausforderungen einer neuartigen Thematik wiederzugeben. Weitere Ausführungen zur genutzten Forschungsmethodik findet sich in Kapitel 2.1.

Aus der Suche ergeben sich daher die in Tabelle 18 gelisteten Publikationen für die Analyse der Herausforderungen digitalisierter Produkte. Zusätzlich finden sich in der Tabelle Informationen über die der jeweiligen Publikation zugrundeliegenden Domänen, der Fokus der Publikation bei der Ermittlung der Herausforderungen und die von der Quelle eingesetzte Methode(n).

Quelle	Domäne(n)	Fokus	Methode
NOVALES ET AL. (2016)	IoT, Pervasive Computing, Semantic Web, Smart Product, Smart Product Service Systems	Herausforderungen für die Geschäftsführung	Literaturanalyse
Anwendungsdomänen			
ROECKER ET AL. (2017)	Creative Industries	Markteintrittsbarrieren	Systematische Literaturanalyse, Interviews
MAYER ET AL. (2011)	Smart Kitchen	Nutzerakzeptanz	Umfrage
LAZAR ET AL. (2015)	Smart Device/ Health	Abbruch der Produktnutzung durch Endanwender	Interviews
Forschungsdomänen			
HONG ET AL. (2009)	Context-aware Systems	Offene Forschungsfragen	Systematische Literaturanalyse
ALEGRE ET AL. (2016)	Context-aware Systems	Entwicklungsherausforderungen	Literaturanalyse, Interviews
ATZORI ET AL. (2010)	IoT	Technologieorientierte Forschungsherausforderungen	Umfrage
SHIM ET AL. (2020)	IoT	Überblick mit integrierter Darstellung von Herausforderungen	Literaturanalyse
VALENCIA ET AL. (2014)	Smart Product Service Systems	Design Herausforderungen	Interviews
KUHLENKÖTTER ET AL. (2017)	Smart Product Service Systems	Forschungsfragen und -herausforderungen	Literaturanalyse
ZHENG ET AL. (2019)	Smart Product Service Systems	Überblick und Historie	Systematische Literaturanalyse

Tabelle 18: Quellenübersicht für Herausforderungen digitalisierter Produkte

Nicht berücksichtigt in der nachfolgenden Analyse wurden dagegen z. B. die Herausforderungen von GUNES ET AL. (2014, S. 4254–4259), da es sich hierbei um

System-Qualitätskriterien bzw. (Qualitäts-)Anforderungen und nicht um ungelöste Herausforderungen im eigentlichen Sinn handelt.

Aus der Übersicht ergibt sich, dass eine domänenunabhängige bzw. domänenübergreifende Betrachtung zur Erzielung von Synergieeffekten bei der darauf aufbauenden Forschung eher selten stattfindet. Die von NOVALES ET AL. (2016, S. 5–7) durchgeführte Literaturrecherche stellt dementsprechend eine Ausnahmen dar. Die Publikation führt Quellen u. a. aus den Domänen IoT, Semantic Web oder Smart Product Service Systems zusammen. Allerdings liegt hier der Fokus auf Management-Herausforderungen und es wurde nur eine kleine Anzahl an Quellen erfasst.

Demgegenüber stehen die Publikationen mit Domänenbezug, die sich jedoch ebenfalls auf eine Problemkategorie (z. B. Nutzerakzeptanz oder technologische Herausforderungen) fokussieren. ROECKER ET AL. (2017) heben sich daher mit ihrer Analyse von Markteintrittsbarrieren eines bisher unerschlossenen Sektors (Creative Industries) von den Literaturanalysen oder behavioristisch-empirischen Studien ab. Dabei zeigte sich auch, dass Quellen, die die gleiche Domäne betrachten, einander referenzieren.

Als Kategorisierungsschema für die aus den Publikationen extrahierten Herausforderungen wurde auf die zuvor ermittelten Komponenten digitalisierter Produkte aus Kapitel 3.3.4 zurückgegriffen. Eine alternative Kategorisierung ,z. B. nach Entwicklungs- oder Lebenszyklusphasen, erschien weniger zielführend, da die Produkte in einer kontinuierlichen Interaktion mit den Nutzern stehen und auch Verbesserungen nach dem Erwerb der Produkte durchgeführt werden können. Im Fall eines Phasenmodells hätten viele Herausforderungen entsprechend multiplen Phasen zugeordnet werden müssen. Herausforderungen, die z. B. die Sicherheit- und Privatsphäre betreffen, müssen nicht nur a priori in der Planung der Produkte berücksichtigt werden, sondern auch später während des Betriebs.

Zur Vereinfachung wurden allerdings einige Komponenten aufgrund von Überschneidungen zusammengeführt (z. B. Anbieter und Ökosystem). Außerdem wurden die Herausforderungen zur Komplexitätsreduktion und Übersichtlichkeit innerhalb der Komponenten thematisch gebündelt.

Ergänzend wurden zudem die Primärquellen von NOVALES ET AL. (2016) herausgesucht und in die Analyse mitaufgenommen. Der selbstgewählte Fokus auf Management-Herausforderungen der Analyse von NOVALES ET AL. (2016) führte zum Ausschluss andersartiger Herausforderungen der ursprünglichen Quellen, wodurch diese für die Analyse dieser Arbeit gewonnen werden konnten. In den nachfolgenden textuellen Erläuterungen wurde zur Transparenz immer die Primärquelle als

Quellenbeleg genannt. In den zugehörigen Übersichts-Tabellen wurden dagegen beide Quellen (NOVALES ET AL. (2016) und die jeweilige Primärquelle der Herausforderung) in Bezug zueinander ausgewiesen. Lediglich die neu ergänzten Herausforderungen der Primärquellen wurden im Text und in der Tabelle nur mit der Primärquelle ausgewiesen. Bei den Primärquellen handelt es sich um die folgenden Publikationen: BORGIA (2014), LERCH UND GOTSCH (2015), LUSCH UND NAMBIAN (2015), MAASS UND VARSHNEY (2008), MÜHLHÄUSER (2008), PORTER UND HEPELMANN (2014a), PORTER UND HEPELMANN (2015), SABOU ET AL. (2009), YOO ET AL. (2010) und YOO ET AL. (2012).

Darüber hinaus wurde in den nachfolgenden Tabelle 19 - Tabelle 24 aus Gründen der Übersichtlichkeit auf die Angabe der Seitenzahlen bei den Quellen verzichtet, diese finden sich aber in der zugehörigen textuellen Beschreibung der Abschnitte wieder.

3.4.1 Sicherheits-bezogene Herausforderungen

Durch die große Menge persönlicher Daten von Nutzern oder von Unternehmen, die durch digitalisierte Produkte gesammelt werden, ergeben sich Herausforderungen in Bezug auf *Sicherheit, Privatsphäre, Vertrauen und ethische Aspekte*. Diese betreffen wiederum alle Komponenten des Ökosystems digitalisierter Produkte (siehe Tabelle 19). Dabei steigen die Komplexität und Notwendigkeit entsprechender Maßnahmen mit zunehmender Anzahl partizipierender digitalisierter Produkte, Anbieter und Nutzer an (Shim et al. 2020, S. 517; Porter und Heppelmann 2015, S. 106; Borgia 2014, S. 18–19).

Alle Komponenten betreffend	
Herausforderung(en)	Quelle(n)
<i>Security und Privacy:</i> auch für Nicht-Nutzer, digitale Vergessen, Vertrauen, Daten-Sensitivität, ethische Fragestellungen, notwendige personelle Ressourcen für die Sicherstellung, Verantwortlichkeiten, vorbeugende oder reagierende Maßnahmen	(Maass und Varshney 2008; Sabou et al. 2009; Borgia 2014; Porter und Heppelmann 2014a; 2015) in (Novales et al. 2016); (Hong et al. 2009; Atzori et al. 2010; Alegre et al. 2016; Kuhlenkötter et al. 2017; Shim et al. 2020)

Tabelle 19: Herausforderungen Security und Privacy (alle Komponenten)

Je größer das Ökosystem, desto mehr Angriffspunkte für Sicherheitsverletzungen durch unautorisierte Dritte ergeben sich, während gleichzeitig die begrenzten Hardware-Ressourcen die Möglichkeiten der Sicherheitsvorkehrungen stark einschränken können (vgl. hierzu den nachfolgenden Abschnitt 3.4.4 zu Herausforderungen der Produktkomponente).

Je nach Anwendungsszenario werden durch die Sensoren auch (sensible) Daten von *unbeteiligten Personen* erfasst, die sich in der Nähe der entsprechenden Sensoren, Kameras, etc. aufgehalten haben. Diese Unbeteiligten haben dann keine eigene Kontrolle über die von ihnen gesammelten und weiterverbreiteten Daten mehr. Auch die Weitergabe an Drittanbieter (über Landesgrenzen hinweg) ist dann ohne die Zustimmung der Betroffenen Personen möglich (Atzori et al. 2010, S. 2802).

Die Menge und unterschiedliche *Sensibilität der Daten* (Shim et al. 2020, S. 518) öffnet daher neben Fragen in Bezug auf ethische Grundsätze (Alegre et al. 2016, S. 60) auch Fragen nach dem *digitalen Vergessen* (Atzori et al. 2010, S. 2803). Andererseits werden historische Daten benötigt, um die proaktive und autonome Nutzer-Interaktion und die Anpassung an die Umgebung oder den Nutzer, also die *künstliche Intelligenz*, zu ermöglichen und so die Kundenbindung zu erhöhen (Hong et al. 2009, S. 8518; Porter und Heppelmann 2014a, S. 72).

Dennoch kann das Fehlen entsprechender Schutzmaßnahmen im Bereich Sicherheit und Privatsphäre für Unternehmen *existenzbedrohende Konsequenzen* nach sich ziehen. Sicherheits- und Privatsphäre-Verletzungen können zum Verlust des Vertrauens seitens der Nutzer und damit auch einen etwaigen Image-Schaden für das Unternehmen führen. Darüber hinaus können gerichtliche Verfahren oder durch Attacken eingestellte Produktionen und Services hohe Kosten für das Unternehmen erzeugen (Shim et al. 2020, S. 519–520).

3.4.2 Provider-bezogene Herausforderungen

Im Bereich *Herausforderungen der Provider* wurden alle Herausforderungen zusammengeführt, die die Anbieterseite betreffen, wie z. B. die Ökosystem-Gestaltung, die Infrastruktur der Anbieter oder sekundäre Services für die Nutzer/das digitalisierte Produkt (siehe Tabelle 20).

Seitens der Quellen wurden vor allem Herausforderungen, die die *Unternehmensstrategie* und den *Entwicklungsprozess* betreffen, angeführt: z. B. die Gestaltung neuer Business Modelle (Lerch und Gotsch 2015, S. 51; Shim et al. 2020, S. 522–523), die Notwendigkeit einer neuen Infrastruktur, fehlende Werkzeuge für die Entwicklung, den Betrieb und die Evaluation (Alegre et al. 2016, S. 61; Porter und Heppelmann 2014a, S. 68; Valencia et al. 2014, S. 14; Hong et al. 2009, S. 8518) oder die Akquise und Koordination von neuen Kooperationspartnern zur Ausweitung des Ökosystems (Porter und Heppelmann 2014a, S. 80; Shim et al. 2020, S. 523). Für jeden dieser Bereiche fehlen Konzepte und Referenzprojekte, die bei der Umsetzung und jeweiligen Fragestellungen helfen (Atzori et al. 2010, S. 2797–2799; Mayer et al. 2011, S. 1070; Roecker et al. 2017, S. 5–7).

Provider		
	Herausforderung(en)	Quelle(n)
Strategie	Gestaltung neuer Business Modelle bzw. Management Systeme: Konzepte, Methoden, Frameworks notwendig	(Lerch und Gotsch 2015) in (Novales et al. 2016); (Shim et al. 2020)
	Hoher Aufwand und Kosten vs. hinzugefügter Mehrwert und Reichweite	(Lerch und Gotsch 2015; Roecker et al. 2017)
	Brücke oder Hindernis zur Volldigitalisierung	(Roecker et al. 2017)
	Klärung von Eigentümerschaft, Urheberrecht, Rollen, Regeln und Normen	(Yoo et al. 2012; Porter und Heppelmann 2014a) in (Novales et al. 2016); (Roecker et al. 2017)
	Veränderungsprozess gestalten: disruptiv (oft nicht erfolgreich) oder graduell, Skill Development multipler Stakeholder, kontinuierlicher Erneuerungsprozess	(Kuhlenkötter et al. 2017)
	Konkurrenz: Neue Wettbewerber und digitale oder physische Substitute	(Porter und Heppelmann 2014a; Roecker et al. 2017)
	Veränderungen in der Organisationsstruktur notwendig	(Porter und Heppelmann 2015)
Entwicklungsprozess	Neue Domäne: Fehlende Referenzprojekte, Konzepte, Anwendungsmöglichkeiten, Standards, Erfahrungen	(Atzori et al. 2010; Mayer et al. 2011; Roecker et al. 2017)
	Unausgereifte Technologien (z. B. Motion Sickness)	(Roecker et al. 2017)
	Interoperabilität der Produkte	(Porter und Heppelmann 2015) in (Novales et al. 2016); (Mayer et al. 2011)
	Neue Infrastruktur und Werkzeuge für die Entwicklung, den Betrieb und die Evaluation notwendig	(Porter und Heppelmann 2014a) in (Novales et al. 2016); (Hong et al. 2009; Valencia et al. 2014; Alegre et al. 2016)
	Synchronisierung von Clock Speeds der physischen Produkt- und Technologieentwicklung	(Porter und Heppelmann 2014a) in (Novales et al. 2016); (Roecker et al. 2017)
	Stakeholder Management: Zusammenführung unterschiedlicher Unternehmenskulturen zwischen vielen verschiedenen Stakeholdern; Kommunikation von (Design)-Zielen; Kompetenzentwicklung; Neugestaltung von Rollen	(Roecker et al. 2017; Valencia et al. 2014; Kuhlenkötter et al. 2017; Zheng et al. 2019; Lerch und Gotsch 2015; Porter und Heppelmann 2015)
	Nutzen-/Wertversprechen gestalten und dauerhaft aufrechterhalten	(Valencia et al. 2014)
Kooperationen	Verursachung hoher Kosten für Ressourcen und Strukturen zur Entwicklung, Ausführung und Wartung kontextintensiver Systeme	(Alegre et al. 2016)
	Zusammenarbeit mit anderen Anbietern (Koordination, Gewinnung, Business Modelle)	(Porter und Heppelmann 2014a) in (Novales et al. 2016); (Shim et al. 2020)
	Zwischenpartner, z. B. für Service-Aufgaben, teilweise oder vollständig ablösbar	(Porter und Heppelmann 2014a; Yoo et al. 2010) in (Novales et al. 2016); (Yoo et al. 2012, S. 1474)

Tabelle 20: Herausforderungen der Provider-Komponente

Neben *technologischen Problemen* wie z. B. die Interoperabilität der Produkte (Mayer et al. 2011, S. 1070; Porter und Heppelmann 2015, S. 105) stellt auch das *Stakeholder-Management* eine große Herausforderung auf Anbieterseite dar: Für die Entwicklung digitalisierter Produkte ist es notwendig, dass Stakeholdergruppen, die vorher getrennt gearbeitet haben, nun eng zusammenarbeiten (z. B. die physische Produktion und die Software-Entwicklung). Fehlende Kompetenzen in der gesamten Wertschöpfungskette führen entweder zur Neugestaltung von Rollen oder durch Einkauf von Expertise zu weiteren, neuen Stakeholdern. Darüber hinaus müssen verschiedene Geschwindigkeiten der technologischen und physischen Produkt-, Innovations- und Entwicklungsprozesse neu aufeinander abgestimmt werden (Valencia et al. 2014, S. 12–13; Lerch und Gotsch 2015, S. 50; Porter und Heppelmann 2015, S. 107–108; Kuhlenkötter et al. 2017, S. 218–219; Roecker et al. 2017, S. 5–7).

Dabei sind auch Veränderungen hinsichtlich der *Organisationsstruktur* notwendig: Für die Zusammenarbeit zuvor unabhängiger Unternehmensbereiche müssen neue Bereiche geschaffen oder vorhandene Bereiche integriert werden. Nur durch die Veränderung der Organisationsstruktur kann auch die enge Produkt- und Kundeninteraktion selbst nach dem Verkauf unterstützt werden oder bereichsübergreifende Sicherheitskonzepte für die gesammelten und für alle Bereiche relevanten Daten etabliert werden (Porter und Heppelmann 2015, S. 108–112).

Damit verbunden sind auch Entscheidungen hinsichtlich der Übernahme bestimmter Service-Aufgaben, die zuvor von *Zwischenpartnern* übernommen worden sind: Durch digitalisierte Produkte kann die Kundenbeziehungen durch direkte Kundenansprache intensiviert werden und bestimmte Service-Aufgaben, wie die Diagnose und Behandlung von Performanzproblemen oder Produktfehlern, durch das Unternehmen selbst übernommen werden. Dies ermöglicht einerseits eine neue Einkommensquelle bzw. Steigerung von Margen und andererseits die Verbesserung des Wissens über Kundenwünsche und damit die Grundlage zur Erhöhung der Kundenloyalität. Die Übernahme dieser Aufgaben bzw. Rollen durch das Unternehmen können allerdings auch mit kostenintensiven Investitionen, z. B. in Logistik und Infrastruktur, verbunden sein. Darüber hinaus können dadurch auch wertvolle Vertriebskanal-Partner an die Konkurrenz verloren gehen (Porter und Heppelmann 2014a, S. 82).

Gleichzeitig wirkt die Übernahme von Aufgaben der (Zwischen-)Partnern der notwendigen *Heterogenität* von Akteuren im Ökosystem entgegen. Unternehmen benötigen heterogene Akteure, um neue Komponenten für das digitalisierte Produkt-

bzw. Plattformangebot zu entwerfen und zu produzieren, denn je größer die Heterogenität, desto größer die Generativität. Der Wert der IT liegt zunehmend in der Integration mit bzw. der Erweiterung durch Drittanbieterkomponenten und daraus entstehende, nicht immer vorhergesehene Innovationsmöglichkeiten. Dies bedeutet jedoch auch, dass die Kontrolle und das Wissen über die Produktkomponenten verteilt wird und die Produkt- und Industriegrenzen verschwinden. Dabei können die verschiedenen Unternehmen gleichzeitig auf einer Ebene zusammenarbeiten bzw. koexistieren und auf einer anderen im Wettbewerb zueinanderstehen (Yoo et al. 2010, S. 729–733).

Aufgrund der sensiblen, persönlichen Daten (vgl. hierzu auch den Abschnitt 3.4.1 zu Datenschutz und Sicherheit) bedarf es auch einer frühzeitigen Klärung in Bezug auf *Eigentümerschaft und Urheberrecht*. Darüber hinaus ist zu berücksichtigen, dass nicht nur das Unternehmen selbst, sondern auch etwaige Kooperationspartner an den Daten interessiert sein können bzw. darauf Zugriff brauchen, um ihren Service anbieten zu können (Yoo et al. 2010, S. 729; Yoo et al. 2012, S.1401; Porter und Heppelmann 2014a, S. 81–82; Roecker et al. 2017, S. 6–7).

Der Aufwand und damit verbundene *Kosten* für den notwendigen internen Veränderungsprozess und die Entwicklung digitalisierter Produkte können je nach Ausgangslage des Unternehmens somit sehr hoch ausfallen. Deswegen sollte der erzeugte bzw. angestrebte *Mehrwert* als auch das *Nutzen-/Wertversprechen*, vorab genau festgelegt und mit dem notwendigen Aufwand abgeglichen werden. Dabei ist auch zu überprüfen, inwieweit es sich bei dem angestrebten digitalisierten Produkt um eine Brücke oder sogar kostenintensives Hindernis zur *Volldigitalisierung* handelt (Valencia et al. 2014, S. 10; Roecker et al. 2017, S. 5–8; Lerch und Gotsch 2015, S. 50).

Neue Wettbewerber, digitale oder physische Substitute und unausgereifte Technologien können zusätzlich den *Markteintritt* erschweren (Roecker et al. 2017, S. 5–6; Porter und Heppelmann 2014a, S. 73).

3.4.3 Gateway-bezogene Herausforderungen

Die Herausforderungen im Bereich *Gateway* (siehe Tabelle 21) sind stärker Technologie-abhängig als bei den anderen Komponenten und betreffen die Ausgestaltung der *Kommunikation* zwischen digitalisierten Produkten und/oder mit Servern (Maass und Varshney 2008, S. 213).

Herausforderungen in diesem Bereich sind daher z. B. die *Adressierung und Identifizierung* von Netzwerkkomponenten durch entsprechende Protokolle oder die Nutzung von Servern wie den Domain Name Server und deren Eignung im Bereich

digitalisierter Produkte. Der Umfang und die Art dieser Herausforderungen werden dabei maßgeblich durch die unbekannte Anzahl an heterogenen Objekten (mit eingeschränkten Ressourcen) im Ökosystem und die unbekannte Menge und Art des erzeugten Datenverkehrs beeinflusst (Atzori et al. 2010, S. 2799–2800; Borgia 2014, S. 15–18).

Gateway	
Herausforderungen	Quellen
Gestaltung der Kommunikation (verteilt oder zentralisiert) zwischen smarten Produkten und/oder mit Servern	(Maass und Varshney 2008) in (Novales et al. 2016)
Remote Device Management für z. B. das An-/Ausschalten, Konfigurieren, Updaten, Wiederherstellen oder das Monitoring heterogener Geräte mit ggf. eingeschränkten Ressourcen	(Borgia 2014) in (Novales et al. 2016)
Adresse- und Netzwerkprobleme aufgrund unbekannter Anzahl heterogener Objekte mit ggf. eingeschränkten Ressourcen (Effective Addressing Policies, Address Identification, New Transport Layer Conception, Traffic Characterization, Quality of Service)	(Atzori et al. 2010; Borgia 2014)
Management einer großen Menge <i>mobiler Objekte</i>	(Borgia 2014)

Tabelle 21: Herausforderungen der Komponente Gateway

Zusätzliche Herausforderungen für die Netzwerkausgestaltung sind das *Remote Device Management* für z. B. das An- und Ausschalten von Geräten sowie das Monitoring und das Management einer großen (Teil-)Menge *mobiler Objekte* (Borgia 2014, S. 15–17).

3.4.4 Produkt-bezogene Herausforderungen

Die Produkt-Komponente betrifft die Funktionalität, Primäre Services, Sensoren, Applikationen, Interfaces und notwendige Intermediäre der digitalisierten Produkte. Dementsprechend wurden Herausforderungen in Bezug auf das Design, die Hardware, die Funktionalität und die bereitgestellten Inhalte zusammengeführt (siehe Tabelle 22).

Zu berücksichtigen hierbei ist allerdings, dass Überschneidungen mit den anderen Komponenten vorhanden sind und einige Herausforderungen, die auch die Produkt-Komponente betreffen, anhand des Fokus der Herausforderung anderen Komponenten zugeordnet wurden. So wurden Herausforderungen, die das *physische Design* digitalisierter Produkte beeinflussen (z. B. Komfort und Selbstdarstellung) den Nutzer-bezogene Herausforderungen zugeordnet. Herausforderungen in Bezug auf die *Architektur* (z. B. Interoperabilität) wiederum wurden den Provider-bezogenen Herausforderungen zugeordnet und Herausforderungen der *Kommunikation* der Produkte untereinander den Gateway-bezogenen Herausforderungen.

Produkt		
	Herausforderungen	Quellen
Design	Allgemein neue Design-Prinzipien/Pattern notwendig	(Porter und Heppelmann 2014a; 2015) in (Novales et al. 2016); (Hong et al. 2009; Shim et al. 2020)
	Notwendige Darstellung einer Vielzahl heterogener Informationen bei gleichzeitiger User Experience-Gestaltung (Usability der Nutzung und der Instandhaltung, Simplicity-Paradox, Raw vs. Processed Data, Informationslevel/Dimensionen)	(Mühlhäuser 2008) in (Novales et al. 2016); (Sabou et al. 2009; Valencia et al. 2014; Lazar et al. 2015; Alegre et al. 2016; Shim et al. 2020)
	Zukünftige Redesigns als kontinuierlicher Prozess: anpassbar an dynamische Veränderungswünsche, User-generated Data und Product-sensed Data zur Nutzungszeit	(Valencia et al. 2014; Zheng et al. 2019)
	Notwendiges Vorwissen für Interpretation der Informationen und Ableitung von etwaigen Handlungen	(Lazar et al. 2015)
	Design für Long-Term vs. Short-Term Use und damit verknüpfte ökologische und ethische Implikationen	(Lazar et al. 2015)
	Kohärenz der visuellen Darstellung und des Systemverhaltens über alle Touchpoints hinweg	(Valencia et al. 2014)
	Schaffung und Aufrechterhaltung werterzeugender Interaktionen mit dem Nutzer	(Valencia et al. 2014)
Hardware	Begrenzte Hardware-Ressourcen (z. B. Speicher, Energie) der physischen Produkte (Load Balancing notwendig, Intermediäre für anspruchsvolle Aufgaben wie z. B. AI, Routing oder Security notwendig)	(Sabou et al. 2009) in (Novales et al. 2016); (Atzori et al. 2010; Borgia 2014; Porter und Heppelmann 2015)
	Genauigkeit der Sensoren	(Lazar et al. 2015)
Funktionalität	Verknüpfung und Koordination von Produkt- und Cloud-Funktionalität	(Porter und Heppelmann 2014a) in (Novales et al. 2016)
	Ungewollte Ablenkung vom Produkt durch Aufwand für die Bedienung der technologischen Komponente	(Roecker et al. 2017)
	Verlässlichkeit insb. der Basisfunktionalität insb. in Fällen, die sonst menschliche Leben riskieren	(Alegre et al. 2016)
Inhalte	Kontinuierliche Bereitstellung neuer qualitativ hochwertige Inhalte für die Produkte (Kosten)	(Lazar et al. 2015; Roecker et al. 2017)
	Handlungsempfehlungen müssen weitere Umweltfaktoren/Kontext berücksichtigen	(Lazar et al. 2015)
	Fehlende Autorität bei Zielvorgaben	(Lazar et al. 2015)

Tabelle 22: Herausforderungen der Produkt-Komponente

Trotzdem konnten verschiedene Herausforderungen identifiziert werden, die direkt die Produkt-Komponente betreffen. Um einen Wert für den Nutzer und Vertrauen zu erzeugen muss z. B. die Darstellung der Daten bzw. daraus abgeleitet Informationen kohärent über alle Kundenberührungspunkte sein. Dies betrifft auch die Nutzer-Handlungsanweisungen und das System-Verhalten, die entsprechend adäquat (Umfang, Tiefe, Relevanz) gestaltet sein müssen (Valencia et al. 2014, S. 9–12).

Die große *heterogene Datenmenge* und die Erwartungen der Nutzer bedingen Abwägungen beim Design hinsichtlich der Usability, der Anzahl an Funktionen (zur Abgrenzung von der Konkurrenz) und der dargereichten Informationstiefe. Dabei muss berücksichtigt werden, inwieweit die Darstellung von Rohdaten oder von verarbeiteten Informationen sinnvoll ist. Dies ist wiederum abhängig vom Vorwissen der Nutzer, das für die Interpretation und Nutzung benötigt wird (Mühlhäuser 2008, S. 158–159; Valencia et al. 2014, S. 8–10; Lazar et al. 2015, S. 638–639; Alegre et al. 2016, S. 60; Shim et al. 2020, S. 516).

Die Entscheidung in Bezug auf *Long-Term* oder *Short-Term Use* hat darüber hinaus ökologische und ethische Implikationen, die bei der Gestaltung frühzeitig berücksichtigt werden sollten (Lazar et al. 2015, S. 636–644).

Die Gestaltung der digitalisierten Produkte erfolgt jedoch nicht einmal, sondern innerhalb eines *kontinuierlichen Prozesses*. Für eine längerfristige Produkt- und Kundenbindung ist dies aufgrund sich ändernder Nutzeranforderungen einerseits notwendig und andererseits wird dies von den Kunden erwartet. Die Änderungen (Verbesserungen, Erweiterungen oder Redesign) erfolgen dabei entweder durch das Unternehmen oder durch die Produkte selbstständig (Valencia et al. 2014, S. 10; Zheng et al. 2019, S. 15).

Damit dies gelingt, ist die Entwicklung neuer Design-Prinzipien, Pattern, Algorithmen und Methoden zur Unterstützung digitalisierter Produkte über den ganzen Entwicklungs- und Lebenszyklus notwendig (Hong et al. 2009, S. 8517; Porter und Heppelmann 2014a, S. 77; Shim et al. 2020, S. 516).

Weitere Herausforderungen in Bezug auf das Endprodukt ergeben sich durch die Hardware selbst, die wiederum auch direkten Einfluss auf die Funktionalität nehmen:

Da sich aus den Sensoren-Daten entsprechende Handlungen für den Nutzer ergeben, hat die Genauigkeit der *Sensoren* bzw. des Produktes Einfluss auf die langfristige Nutzung oder gar den Kauf seitens des Nutzers (Lazar et al. 2015, S. 641).

Aufgrund der heterogenen Beschaffenheit sind die Möglichkeiten für *Hardware-Ressourcen* wie Speicher limitiert. Dies wirkt sich wiederum auf die mögliche *Funktionalität* aus. Anspruchsvollere Berechnungen, z. B. für künstliche Intelligenz oder von Sicherheits- und Privatsphäre-Mechanismen, sind dann teilweise oder gar nicht mehr innerhalb des Produktes möglich (Sabou et al. 2009, S. 143; Atzori et al. 2010, S. 2801; Borgia 2014, S. 16–18; Porter und Heppelmann 2015, S. 106).

Daher gilt es auch eine adäquate Verknüpfung und Koordination von Produkt- und ggf. Cloud-Funktionalität festzulegen. Zu berücksichtigen sind dabei allerdings

verschiedene Einflussfaktoren wie z. B. Antwortzeiten, Netzwerkverfügbarkeit und -verlässlichkeit oder der Einsatzort (Porter und Heppelmann 2014a, S. 78–79).

Ebenso ist die Verlässlichkeit der (Basis-)Funktionalität wichtig und kann bei Nichterfüllung zum Abbruch der Nutzung führen. Dies spielt eine umso größere Rolle in Domänen in denen dadurch menschliches Leben gefährdet wäre (z. B. im Smart Health oder Ambient-Assisted-Living-Bereich) (Alegre et al. 2016, S. 61).

Auf *inhaltlicher Ebene* ist es für die langfristige Nutzung notwendig, kontinuierlich hochwertige und neuartige Inhalte für den Nutzer bereitzustellen, die dementsprechend hohe Kosten für die Erzeugung verursachen können (z. B. redaktionelle Überarbeitung) (Lazar et al. 2015, S. 641; Roecker et al. 2017, S. 6).

Bereitgestellte Handlungsempfehlungen und Zielvorgaben wiederum müssen auch etwaige zusätzliche Umweltfaktoren des Nutzerkontexts berücksichtigen, die ggf. verhindern, dass der Nutzer diese umsetzen kann. Dabei kann eine fehlende Autorität auf Anbieterseite die gefühlte Notwendigkeit der Umsetzung der Handlungsempfehlungen negativ beeinflussen (Lazar et al. 2015, S. 639). Anweisungen, die man eher von ärztlichen Personal erwarten würde, würden so ggf. ignoriert werden, wenn sie vom digitalisierten Produkt stammen.

3.4.5 Logik-bezogene Herausforderungen

Im Bereich der *Logik*-Komponente (Algorithmen, AI, Datensammlung und -transformation) wurden Herausforderungen, die sich in die Bereiche Datensammlung und -verarbeitung gruppieren lassen, zusammengeführt (siehe Tabelle 23).

Für die Datensammlung ist vor allem die schlechte *Datenqualität* aufgrund der heterogenen Datenquellen (verschiedene Sensoren, Kameras, lückenhafte manuelle Dateneingaben etc.) mit unterschiedlichen Datenformaten problematisch (Hong et al. 2009, S. 8517–8518; Sabou et al. 2009, S. 142; Borgia 2014, S. 17; Porter und Heppelmann 2015, S. 100; Alegre et al. 2016, S. 60; Shim et al. 2020, S. 516).

Zusätzlich erschweren *multiple Nutzer* die Erfassung und Nutzung der korrekten Kontextdaten (z. B. mehrere Nutzer wollen gleichzeitig auf einen limitierten Service zugreifen oder gleichzeitige Anfrage eines Service mit unterschiedlichen Präferenzen) (Hong et al. 2009, S. 8518). Auch kann es für zukünftige personalisierte Services notwendig sein, nicht nur den physischen (externen) Kontext zu erfassen, sondern auch den *kognitiven (internen) Kontext* (z. B. Informationsgewinnung, Entscheidungsfindung, Lagebeobachtung). Allerdings befindet sich die Forschung in Bezug auf die Erfassung des internen Kontexts noch in den Anfängen (Hong et al. 2009, S. 8517).

Logik		
	Herausforderungen	Quellen
Datensammlung	Qualität/Authentizität der Daten schwierig zu erreichen aufgrund multipler, verteilter Ressourcen mit ungenauen, überschneidenden, widersprüchlichen oder fehlenden Daten in unterschiedlichen Datenformaten	(Sabou et al. 2009) in (Novales et al. 2016); (Alegre et al. 2016; Hong et al. 2009; Shim et al. 2020; Porter und Heppelmann 2015; Borgia 2014)
	Mechanismen zur Unterstützung emergenten Wissens	(Sabou et al. 2009) in (Novales et al. 2016)
	Erfassung des kognitiven (internen) Kontexts	(Hong et al. 2009)
	Konfliktmanagement bei multiplen Nutzern (Sensing/ Service Ressourcen/ User Preference Konflikte)	(Hong et al. 2009)
Datenverarbeitung	Entwicklung von und Umgang mit neuen (komplexen bzw. anspruchsvollen) Algorithmen, Techniken, Metriken und (Daten-)Modelle zur Verbesserung der Datensammlung, -integration und -interpretation	(Sabou et al. 2009; Porter und Heppelmann 2014a; Lerch und Gotsch 2015) in (Novales et al. 2016); (Borgia 2014; Shim et al. 2020)
	Hohe und schnelle <i>Verarbeitung und Verfügbarkeit</i> der (Kontext-)Informationen (Echtzeit)	(Sabou et al. 2009; Alegre et al. 2016; Shim et al. 2020)
	<i>Big Data Management</i> : Indizierung, Zusammenführung, Filterung, Zugriff, Speicherung und Archivierung (Auswahl, Policies, Modelle, Ort) großer heterogener Datenmengen notwendig aufgrund vieler Geräte und notwendiger historischer Daten für proaktive Services, Performanz-Metriken und Handlungsanweisungen	(Hong et al. 2009; Borgia 2014; Shim et al. 2020)

Tabelle 23: Herausforderungen der Logik-Komponente

Die Produkt-Nutzer-Interaktion kann darüber hinaus zu *emergenten* – also neu auftretendem bzw. entstehenden – Wissen führen, das es gilt mit entsprechenden Mechanismen bei der Ableitung und Speicherung in der Wissensbasis zu unterstützen (Sabou et al. 2009, 143).

Die Ermittlung von z. B. Handlungsanweisungen oder proaktive Services bedingen zudem die zunehmende *Menge historischer Daten* (z. B. Ortsangaben, Zustand von Geräten, ausgewählte Services), die es gilt zu verwalten (Hong et al. 2009, S. 8518; Shim et al. 2020, S. 516).

Daher werden neue (anspruchsvollere) Algorithmen, Techniken und (Daten-)Modelle benötigt, die die Datensammlung, -zusammenführung, -interpretation und -speicherung verbessern (Shim et al. 2020, S. 516; Borgia 2014, S. 17–18; Porter und Heppelmann 2014a, S. 81; Sabou et al. 2009, S. 143; Lerch und Gotsch 2015, S. 51). Darüber hinaus muss die schnelle und akkurate Verarbeitung der Daten unterstützt werden, um diese je nach Anwendungsszenario in Echtzeit zur Verfügung stellen zu können (Sabou et al. 2009, S. 143; Alegre et al. 2016, S. 60; Shim et al. 2020, S. 516).

Mit zunehmender Anzahl an Geräten bzw. Sensoren, analytischen Anforderungen und wachsendem Ökosystem fällt dieser Bereich daher in den Forschungsbereich des Big Data Managements und Analytics.

3.4.6 Nutzer-bezogene Herausforderungen

Digitalisierte Produkte als soziotechnische Systeme erzeugen durch ihre Interaktion mit dem Nutzer *Emotionen und Erlebnisse*, die es gilt bei der Entwicklung zu berücksichtigen, um die geplante, langfristige Bindung aufrecht erhalten und das Vertrauen in das Produkt stärken zu können (Valencia et al. 2014, S. 11). Daher gilt es auch die teils subjektiv geprägten Herausforderungen des *Nutzers* und seiner Umgebung zu berücksichtigen (siehe Tabelle 24).

Nutzer und seine Umgebung		
	Herausforderungen	Quellen
Nutzung	Fehlende Infrastruktur am Einsatzort	(Roecker et al. 2017)
	Fehlende Technik-bezogene Skills und Vorwissen	(Lazar et al. 2015; Roecker et al. 2017)
	Integration in den Alltag: Erlernung neuer Routinen schwierig, Aufdringlichkeit des Produktes, Wartungsarbeiten (Aufwand, Häufigkeit, Routine, Komptabilität)	(Lazar et al. 2015)
	Produkt-Wahrnehmung (z. B. Komfort)	(Lazar et al. 2015)
Bedürfnisse	Selbstwahrnehmung und Image-Bedürfnisse des Nutzers berücksichtigen	(Mayer et al. 2011; Lazar et al. 2015)
	Überhöhte Erwartungen	(Roecker et al. 2017)
	Zahlungsbereitschaft für digitale Erweiterungen schlecht	(Roecker et al. 2017)

Tabelle 24: Herausforderungen der Nutzer-Komponente

Aus Unternehmenssicht ist es zunächst notwendig, a priori zu wissen, inwieweit *Infrastrukturkomponenten* (z. B. stabile, hochleistungsfähige Internetverbindung) beim Nutzer vorhanden sind, da diese Einfluss auf die Einsatzmöglichkeit des Produktes haben (Roecker et al. 2017, S. 7). Für die Produktnutzung sollte darüber hinaus bekannt sein, welche Technik-bezogenen *Skills und Vorwissen* des Nutzers notwendig bzw. vorhanden sind (Lazar et al. 2015, S. 639; Roecker et al. 2017, S. 6). Auch die *Integration* des Produkts in den Alltag muss geplant werden, da z. B. das Erlernen neuer Routinen oft schwierig ist oder aufwändige, häufige *Wartungsarbeiten* eine negative Wahrnehmung in Bezug auf das Produkt erzeugen können (Lazar et al. 2015, S. 639–640).

Gleichzeitig ist im Endkundenbereich auch die *Selbstwahrnehmung* (passt das Produkt zu mir) und die Selbstdarstellungs-Bedürfnisse in Bezug auf die *Fremdwahrnehmung* durch andere (z. B. Familie und Freunde) einflussgebend auf die Kaufentscheidung (Mayer et al. 2011, S. 1070; Lazar et al. 2015, S. 638). Je nach

Domäne und damit digitalisiertem Produkt kommen noch weitere Faktoren hinzu wie z. B. der Komfort bei Tragen des Produkts (Lazar et al. 2015, S. 640).

Darüber hinaus scheinen im Bereich digitalisierter Produkte sowohl *überhöhte Erwartungen* als auch eine eher *schlechte Zahlungsbereitschaft* für funktionale, digitale Erweiterungen vorzuherrschen (Roecker et al. 2017, S. 6). Dies ist für die Erzeugung qualitativ hochwertiger und damit ggf. kostenintensiver Zusatzfunktionen und -inhalte ein Problem, das dementsprechend frühzeitig in der Planung adressiert werden sollte.

3.4.7 Forschungs- und Anwendungsdomänen-Bezug der identifizierten Herausforderungen

In der Herausforderungsanalyse wurden weder alle Forschungs-, noch alle Anwendungsdomänen digitalisierter Produkte (siehe Kapitel 2) durch Quellen repräsentiert. Zu beachten ist allerdings, dass eine Anwendungsdomäne mehreren Forschungsdomänen zugeordnet werden kann (vgl. Kapitel 2.3.5), sodass aufgrund der Repräsentation durch sechs Forschungsdomänen zahlreiche Anwendungsdomänen mitrepräsentiert wurden. Es fehlen daher ggf. nur sehr sehr Anwendungsdomänen-spezifische Herausforderungen. Zusätzlich weisen die Quellen der Forschungsdomänen eine größere quantitative Menge an Herausforderungen und ausführlichere Erläuterungen dieser auf als die Quellen der Anwendungsdomänen.

Die bisherigen Ergebnisse zeigen darüber hinaus bereits viele Überschneidungen über Anwendungs- und Forschungsdomänengrenzen hinweg. So zeigt Tabelle 25, dass viele Herausforderungen in mehr als nur einer Domäne angeführt werden. Überdies lassen sich viele Herausforderungen aufgrund ihres Abstraktionsgrades und inhaltliche Überschneidung auf andere Domänen übertragen wie z. B. die visuelle und System-verhaltende Kohärenz über alle Kundenberührungspunkte hinweg (Valencia et al. 2014, S. 11–12). In nur einigen Fällen kann dagegen eine Domänenabhängigkeit bei den Herausforderungen identifiziert werden wie z. B. der Komfort bei Tragen eines digitalisierten Produktes (Lazar et al. 2015, S. 640).

Daher konnte trotz fehlender Repräsentation aller Anwendungs- und Forschungsdomänen ein umfangreicher Überblick über die verschiedenen Herausforderungen digitalisierter Produkte gegeben werden. Eine Ergänzung um weitere Domänen würde dementsprechend keinen größeren Mehrwert im Rahmen der vorliegenden Arbeit liefern.

Die Zuordnung der Herausforderungen zur Domäne der ursprünglichen Publikation (siehe Tabelle 25) brachte dagegen weitere Erkenntnisse in Bezug die Herausforderungen und Komponenten und gibt Anstoß für weitere Forschung:

So stammten die Herausforderungen in Bezug auf die *Gateway*-Komponente lediglich aus Quellen der IoT-Forschungsdomäne. Dies könnte daran liegen, dass IoT einen stärkeren Fokus auf dynamische, globale Netzwerke hat als andere Forschungsdomänen (vgl. Kapitel 2.2.6). Aufgrund der zunehmend Vernetzung werden diese Herausforderungen allerdings auch für die anderen Domänen zunehmend relevant werden.

Herausforderungen in Bezug auf den *Nutzer* wiederum stammen nur aus Quellen der Anwendungsdomänen. Ähnlich verhält es sich bei den Herausforderungen, die die Produktinhalte betreffen, die indirekt die Nutzer mitbetreffen. Die Forschungsdomänen-Literatur thematisiert allgemeine Design-Guidelines und Konzepte wie User Experience statt (subjektiver) Nutzerherausforderungen. Damit verknüpft ist auch, dass bei der Anwendungsdomänenliteratur mehr empirisch-behavioristische Forschungsmethoden zur Analyse eingesetzt wurden, während die Forschungsdomänen zusammenführende Literaturanalysen präferierten. Auch ein etwaiger Technologiefokus der Domänen aufgrund der jeweils gewählten Methoden kann die Ergebnisse hier weiter verzerrt haben. Selbst für die Anwendungsdomäne Smart City zeigt die Untersuchung von MARRONE UND HAMMERLE (2018, S. 203–210), dass die Nutzerperspektive in der Smart-City-Literatur unterrepräsentiert ist.

Herausforderungen mit Bezug auf *Sicherheit und Privatsphäre* betrafen alle Komponenten, wurden allerdings nur von Quellen mit Forschungsdomänenbezug angeführt. Aufgrund des Einflusses von Sicherheit und Privatsphäre gleichermaßen auf Unternehmens- und Nutzerseite kann allerdings angenommen werden, dass bei einer fokussierten Anwendungsdomänen-Recherche Herausforderungen in Bezug auf Sicherheit, Privatsphäre und ethische Fragestellungen identifiziert werden können.

Ähnlich verhält es sich mit Herausforderungen in Bezug auf die Logik-Komponente: auch hier entstammen fast alle Herausforderungen der Forschungsdomänen-Literatur, obgleich die Logik-Komponente auch für die Anwendungsdomänen relevant ist. Beides sind daher auch Indizien für einen bereits angesprochenen etwaigen Technologiefokus der Forschungsdomänen. Hier kann dementsprechend zukünftige Forschung ansetzen, um dem entstandenen Bias in der Forschung entgegenzuwirken.

		Internet of Things	Context-aware Systems	Ambient Intelligence	Semantic Web	Pervasive Computing	Service Systems	Creative Industries	Manufacturing	Smart Health	Smart Home	Smart Product
Alle Komponenten												
	Security and Privacy	X	X	X	X	-	X	-	-	-	-	X
Provider												
Strategie	Business Modelle/Management Systeme	X	-	-	-	-	X	-	X	-	-	-
	Aufwand und Mehrwert	-	-	-	-	-	X	X	-	-	-	-
	Alternative zu Volldigitalisierung	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-
	Eigentümerschaft, Normen, etc.	X	-	-	-	X	-	X	-	-	-	X
	Veränderungsprozess	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-
	Konkurrenz	X	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-
	Organisationsstruktur	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Entwicklungsprozess	Neue Domäne	X	-	-	-	-	-	X	-	-	X	-
	Unausgereifte Technologien	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-
	Interoperabilität	X	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X
	Infrastruktur und Werkzeuge	X	X	-	-	-	X	-	-	-	-	X
	Synchronisierung von Clock Speeds	X	-	-	-	-	-	X	-	-	-	X
	Stakeholder Management	X	-	-	-	-	X	X	-	-	-	-
	Nutzen-/Wertversprechen	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-
	Kosten	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Kooperationen	Zusammenarbeit	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X
	Zwischenpartner	X	-	-	-	X	-	-	-	-	-	X
Gateway												
	Kommunikation	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X
	Remote Device Management	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Adress- und Netzwerkprobleme	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Mobile Objekte	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Produkt												
Design	Design-Prinzipien/Pattern	X	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Heterogene Informationen	X	X	X	X	-	X	-	-	X	-	X
	Zukünftige Redesigns	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-
	Notwendiges Vorwissen	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-

		Internet of Things	Context-aware Systems	Ambient Intelligence	Semantic Web	Pervasive Computing	Service Systems	Creative Industries	Manufacturing	Smart Health	Smart Home	Smart Product
	Long-Term vs. Short-Term Use	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-
	Kohärenz	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-
	Interaktionen mit dem Nutzer	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-
Hardware	Begrenzte Hardware-Ressourcen	X	-	X	X	-	-	-	-	-	-	X
	Genauigkeit der Sensoren	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-
Funktionalität	Produkt- und Cloud-Funktionalität	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Ablenkung vom Produkt	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-
	Verlässlichkeit	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Inhalte	Kontinuierlich neue Inhalte	-	-	-	-	-	-	X	-	X	-	-
	Weitere Umweltfaktoren für Handlungsempfehlungen	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-
	Fehlende Autorität bei Vorgaben	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-
Logik												
Datensammlung	Qualität/Authentizität der Daten	X	X	X	X	-	-	-	-	-	-	X
	emergenten Wissens	-	-	X	X	-	-	-	-	-	-	X
	kognitiven (internen) Kontexts	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Konfliktmanagement bei multiplen Nutzern	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Verarbeitung	Algorithmen, Modelle, etc.	X	-	X	X	-	X	-	X	-	-	X
	Echtzeit-Verfügbarkeit	X	X	X	X	-	-	-	-	-	-	X
	Big Data Management	X	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Nutzer und seine Umgebung												
Umgebung	Infrastruktur am Einsatzort	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-
Nutzung	Technik- Skills und Vorwissen	-	-	-	-	-	-	X	-	X	-	-
	Integration in den Alltag	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-
	Produkt-Wahrnehmung	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-
Bedürfnisse	Selbstwahrnehmung/ Image	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X	-
	Überhöhte Erwartungen	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-
	Zahlungsbereitschaft	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-

Tabelle 25: Domänen-Ursprung der identifizierten Herausforderungen

Legende: X = entstammt der Domäne, - = entstammt nicht der Domäne

3.5 Zusammenfassung und kritische Anmerkungen zu den Ergebnissen des Kapitels

Ziel des Kapitels war es, den Bezugsrahmen der vorliegenden Arbeit um das Verständnis über digitalisierte Produkte als Informationssysteme und die sich daraus ergebenden Herausforderungen für die Herstellung und die Nutzung von digitalisierten Produkten zu erweitern.

Digitalisierte Produkte konnten dadurch als soziotechnische Informationssysteme klassifiziert werden, denen bisher ein eindeutiger Bezeichner und eine allgemeingültige Definition fehlen, aber verschiedene gemeinsame, zentrale Merkmale aufweisen (siehe Tabelle 17): Im Vordergrund steht dabei die Sammlung (und Nutzung) von Umgebungsinformationen sowie die Interaktion mit Nutzern und zwischen Produkten. Ebenso von Bedeutung ist dabei die etwaige Eigenständigkeit der Systeme, die sich allerdings je nach Domäne in ihrem Umfang unterscheidet. So sollen digitalisierte Produkte je nach Domäne eigenständig ein Netzwerk aufbauen oder einem bestehenden Netzwerk beitreten können, sich dynamisch an Umgebungsveränderungen oder Nutzerreaktionen anpassen oder die Nutzer proaktiv ansprechen. Neuere Verständnisse ergänzen diese Merkmale noch um den Aspekt der gemeinsamen Werterzeugung von Anbietern und Nutzern.

Die zentralen Merkmale repräsentieren in der Regel die impliziten Kundenerwartungen an das Endprodukt. Demgegenüber steht die Technologiesicht, die sich meist in Form von (Architektur-)Modellen zur Unterstützung der Produktentwicklung ausdrückt. Für digitalisierte Produkte existieren bereits zahlreiche konzeptuelle Modelle, die bekanntesten Modelle sind dabei die Architekturmodelle von PORTER UND HEPPELMANN (2014b) und YOO ET AL. (2010). Sie stellen auch die Grundlage für viele andere Modelle dar.

Keines der vorgestellten Modelle schaffte es jedoch alle zentralen Merkmale digitalisierter Produkte abzubilden. Daher wurde im Rahmen der Arbeit ein eigenes konzeptuelles Modell als Grundlage für die weitere Arbeit entwickelt (siehe Abbildung 12 in Kapitel 3.3.4).

Das konzeptuelle Modell stellte auch die Grundlage für die Kategorisierung der identifizierten Herausforderungen digitalisierter Produkte dar. Einige Komponenten mussten hierfür aufgrund ihrer Nähe und dadurch entstandene Überschneidungen zur Übersichtlichkeit zusammengeführt werden (z. B. Anbieter und Ökosystem zu Provider). In anderen Fällen wurden Herausforderungen, die mehrere Komponenten betrafen, anhand ihres Fokus der entsprechend zuständigen Komponente zugewiesen.

Weiterhin erschwerten Abhängigkeiten bzw. das reziproke Verhältnis einiger Herausforderungen zueinander die Kategorisierung zusätzlich: So haben z. B. die limitierten Hardware-Ressourcen digitalisierter Produkte darauf Einfluss, welche Sicherheitsmaßnahmen im Produkt selbst implementiert werden können. In einigen Fällen ist somit ein weiteres Produkt (z. B. Intermediär) notwendig, um alle notwendigen Sicherheitsmaßnahmen umsetzen zu können. Das ergänzende Produkt bzw. der Intermediär stellt dabei gleichzeitig selbst auch wieder eine Sicherheitslücke dar, sodass weitere Sicherheitsmaßnahmen notwendig werden (Atzori et al. 2010, S. 2801).

Eine Analyse der Abhängigkeit der Herausforderungen oder deren Priorisierung, z. B. nach Wichtigkeit für das Unternehmen oder die Nutzer, existiert in der Literatur bisher noch nicht und bietet daher Grundlage für weitere Forschung.

Auch zeigte die Analyse der Herausforderungen, dass eine domänenunabhängige bzw. domänenübergreifende Forschung in diesem Bereich kaum existent ist, obwohl dieselben Herausforderungen in verschiedenen Domänen auftreten und damit eine übergreifende Betrachtung und Lösung Synergieeffekte bergen könnte (vgl. Tabelle 25).

Insgesamt betrachtet sind die meisten genannten Herausforderungen keine neuen Probleme bzw. Problemkategorien von Informationssystemen per se. Sicherheit und Privatsphäre, Cloud-Funktionalität oder Big Data beispielsweise können als junge, aber nicht neue Bereiche klassifiziert werden. Trotzdem scheinen bisher viele bekannte Lösungen aufgrund der inhärenten Eigenschaften digitalisierter Produkte nicht (vollständig) geeignet zu sein, sodass neue Lösungsansätze in allen Bereichen gefordert werden.

Der Abgleich mit den Forschungs- und Anwendungsdomänen digitalisierter Produkte brachte dabei weitere Erkenntnisse in Bezug auf die Herausforderungen: Herausforderungen der Gateway-Komponente entstammten lediglich Quellen der IoT-Literatur. Herausforderungen mit Nutzer-Bezug wiederum hauptsächlich der Anwendungsdomänen-Literatur, die darüber hinaus empirisch-behavioristische Forschungsmethoden präferieren. Sicherheits- und Privatsphäre-Herausforderungen wurden nur durch Quellen der Forschungsdomänenliteratur angesprochen, obwohl diese Herausforderungen alle Komponenten digitalisierter Produkte betreffen.

Die im Kapitel beschriebenen und kategorisierten Herausforderungen digitalisierter Produkte sind allerdings aufgrund des gewählten Vorgehens einer narrativen Literaturanalyse und der dabei identifizierten und ausgewählten Quellen nicht als

vollständig zu erachten. Einerseits konnten nicht alle Forschungs- und Anwendungsdomänen digitalisierter Produkte durch die ausgewählte Literatur repräsentiert werden und andererseits wiesen die Quellen der Anwendungsdomänen einen engen Fokus (z. B. nur private Endkunden) auf.

Allerdings ist zu beachten, dass Anwendungsdomänen mehreren Forschungsdomänen zugeordnet werden können (vgl. Kapitel 2.3.5), sodass die fehlenden Anwendungsdomänen indirekt durch die Forschungsdomänen mitrepräsentiert werden konnten. Lediglich sehr Anwendungsdomänen-spezifische Herausforderungen könnten dadurch ggf. nicht mitaufgenommen werden. Zukünftige Forschung könnte daher helfen, die bisher identifizierten Herausforderungen durch z. B. gezielte systematische Literaturanalysen in verschiedenen (Anwendungs-) Domänen weiter zu vervollständigen.

Für diese Arbeit ist infolgedessen der gewonnene Überblick über die verschiedenen Herausforderungen digitalisierter Produkte ausreichend. Die entstandene Zuordnung schafft ein übersichtliches Verständnis über die verschiedenen Problembereiche. Eine Ergänzung um weitere Domänen würde zum aktuellen Zeitpunkt aufgrund des bereits erzielten Umfangs und dem damit verbundenen Mehraufwand keinen größeren Mehrwert erzeugen.

Als nächster Schritt wird somit im folgenden Kapitel 4 die zentrale Methode der Arbeit vorgestellt.

4 Erläuterung des methodischen Ansatzes der Reifegradmodellierung

In dem vorliegenden Kapitel wird der methodische Ansatz der Reifegradmodellierung zur Erstellung des zentralen Artefakts der vorliegenden Arbeit erläutert. Der aus dem Qualitätsmanagement stammende Ansatz der Reifegradmodellierung dient z. B. in seiner bekanntesten Umsetzung in der Software-Entwicklung, dem Capability Maturity Model (CMM), der Verbesserung der Produkt-Qualität über die Prozessqualität.

Nach einer einführenden Erläuterung des methodischen Vorgehens dieses Kapitels (KAPITEL 4.1), wird dementsprechend das allgemeine Qualitätsverständnis der vorliegenden Arbeit auch in Bezug auf digitalisierte Produkte dargestellt (KAPITEL 4.2).

Im Anschluss erfolgt die theoretische Einführung in die Reifegradmodellierung (Begriffe, Ziele, Typen) zur Verbesserung der Qualität und die exemplarische Vorstellung des CMM (KAPITEL 4.3).

Darauf aufbauend erfolgt die Erläuterung der systematischen Entwicklung von Reifegradmodellen (KAPITEL 4.4) und die Ableitung einer Vorgehensweise für das zu konzipierende Modell dieser Arbeit als zusammenfassender Abschluss des Kapitels (KAPITEL 4.5).

4.1 Methodisches Vorgehen des Kapitels

Zur qualitativen Ermittlung, Zusammenführung und kritischen Auseinandersetzung verschiedener Begrifflichkeiten eignet sich, wie im Kapitel 2.1 ausführlich dargelegt und beschrieben, das methodische Vorgehen eines *Narrative Reviews*. Daher wird im Folgenden die Methode zur Abgrenzung der verschiedenen Verständnisse und Begrifflichkeiten in Bezug auf Qualität und Reifegradmodellierung eingesetzt.

Dabei sollen sowohl für die Erarbeitung des Qualitätsverständnisses als auch zur Erläuterung der Reifegradmodellierung repräsentative oder zentrale Quellen ermittelt werden statt einer vollständigen Erfassung aller Quellen. Dafür wird auf verschiedene Datenquellen zurückgegriffen, die durch entsprechende Techniken wie Vorwärts- und Rückwärtssuchen bei Bedarf ergänzt werden.

Ergänzend basieren die Ausführungen in Kapitel 4.2 auf vorangegangene Forschungspublikationen, die zusammen mit der vorliegenden Arbeit Teil eines größeren Forschungsvorhabens sind. Dies wurde entsprechend in Kapitel 1.6 bereits ausgewiesen.

Die Tabelle 26 fasst die Methodik dieses Kapitels zusammen.

Outcome	Background Review	Standalone Review Paper	Research Thesis
Method	Describing	Narrative Review	Descriptive Review
	Understanding	Critical Review	
	Explaining	Theoretical Review	Realist Review
	Theory Testing	Meta-Analysis	Qualitative Systematic Review
Process	Sequential	Iterative	
Data Source	Citation Indexing Services	Bibliographic Databases	Publications
Coverage	Comprehensive	Representation	Seminal Works
Techniques	Keyword Search	Backward Search	Forward Search

Tabelle 26: Einordnung der Literaturanalyse zur Abgrenzung der verschiedenen Verständnisse und Begrifflichkeiten in Bezug auf Qualität und Reifegradmodellierung

Quelle: in Anlehnung an COOPER (1988, S. 108–112), VOM BROCKE ET AL. (2015, S. 214) und SCHRYEN ET AL. (2020, S. 137)

4.2 Qualitätsverständnis in Bezug auf digitalisierte Produkte¹⁴

Der Begriff und das damit verbundene Verständnis von Qualität ist Betrachtungsgegenstand in vielen verschiedenen Disziplinen der Forschung und der Praxis. Er findet sich demnach sowohl in der Fachsprache als auch in der Umgangssprache wieder. Dabei haben sich unterschiedliche Terminologien und Sichtweisen entwickelt, welche unaufgelöst zu Kommunikationsproblemen, z. B. zwischen verschiedenen Unternehmensabteilungen, führen können (Garvin 1984, S. 29). Eine Auflösung des Konzeptes im Rahmen der vorliegenden Arbeit erscheint somit für den weiteren Verlauf sinnvoll.

Der hybride Charakter digitalisierter Produkte stellt hierbei jedoch ein Problem dar. Digitalisierte Produkte bestehen nicht nur aus einem klassischen, physischen Produkt oder einer Dienstleistung, sondern werden durch weitere Komponenten (Software, IT-Hardware) konstituiert. In einigen Fällen besteht zudem eine Beziehung zu weiteren Produkten und Komponenten im Rahmen eines Ökosystems (vgl. hierzu Kapitel 3.3.4). Da alle Komponenten direkten oder indirekten Einfluss auf die Zufriedenheit und Akzeptanz des Produktes haben können, ist es notwendig, die Qualität aller Komponenten zu berücksichtigen (Schiller et al. 2018).

¹⁴ Dieses Kapitel und seine Unterkapitel basieren in Teilen auf Inhalten aus der vorliegenden Arbeit vorangegangenen Forschungspublikationen (siehe hierzu auch die Ausführungen in Kapitel 1.6 und Kapitel 4.1): BROGT ET AL. (2017), SCHILLER ET AL. (2018) und SCHILLER ET AL. (2020). Dabei wurden die Artikel wie andere Quellen referenziert.

4.2.1 Produkt- und Dienstleistungsqualität

Qualität wird im Allgemeinen als Eigenschaft verstanden, „*die einer Sache oder etwas Immateriellem, z.B. einer sprachlichen Aussage (allgemein also einer Einheit), anhaftet*“ (Zollondz 2010, S. 166). Diese Eigenschaft kann „*entweder als Güte oder Beschaffenheit einer Einheit*“ (Zollondz 2010, S. 167) definiert werden.

Der Güte-bezogene Begriff stellt dabei eine zweckerfüllende rein positive Bewertung dar (z. B. Gütesiegel, Sternebewertung). Der Beschaffenheits-bezogene Begriff wertet dagegen offen, d. h. es müssen zunächst Qualitätsanforderungen aufgestellt werden und erst die darauf aufbauenden Qualitätsmerkmale können gemessen bzw. beobachtet werden (Zollondz 2010, S. 166–168).

GARVIN (1984, S. 25–29) unterscheidet darüber hinaus fünf Ansätze zur Definition von Produktqualität:

- *Der transzendente Ansatz* (Ursprung Philosophie): Qualität kann nicht genau definiert bzw. gemessen werden, sondern nur ex post aufgrund seiner absoluten und universalen Erkennbarkeit erfahren werden.
- *Der Produkt-bezogene Ansatz* (Ursprung Volkswirtschaft): Qualität ist eine objektive, inhärente, messbare Variable eines Produktes, die daher quantitativ steuerbar ist und eine Rangordnung zwischen verschiedenen Produkten erlaubt.
- *Der Nutzer-bezogene Ansatz* (Ursprung Marketing): Qualität ist die subjektive Einschätzung von Produkteigenschaften durch den Nutzer in Abhängigkeit von seinen Bedürfnissen, Vorlieben, Wünschen, etc.. Er ist jedoch nicht (vollständig) gleichzusetzen mit dem Konzept der Kundenzufriedenheit.
- *Der Produktions-bezogene Ansatz*: Qualität entspricht dem Grad der Erfüllung der a priori definierten Anforderungen (Entwurf) mit dem Ziel der Kostenreduktion für nachträgliche Produkthanpassungen bzw. -reparaturen. Abweichungen vom Entwurf entsprechen dabei einer Qualitätsreduktion.
- *Der Wert-bezogene Ansatz*: Qualität drückt sich durch Produkteigenschaften bzw. Bedürfnisbefriedigung in Relation zu Kosten und Preis aus. Es handelt sich demnach um ein Konzept der bezahlbaren Exzellenz.

GARVIN (1984, S. 29) zufolge sind die verschiedenen Ansätze nicht als absolut zu betrachten, sondern haben eine Notwendigkeit in verschiedenen Phasen der Produkterstellung, sodass Unternehmen sich nicht auf einen Ansatz alleine fokussieren sollten. Das mag der Grund sein, weshalb die Ansätze heute Teil verschiedener Ansätze des Qualitätsmanagements sind (Zollondz 2010, S. 169).

Offen bei den Ansätzen bleiben allerdings die Elemente der Produktqualität (und ihre Messbarkeit) (Garvin 1984, S. 29). Darüber hinaus sieht ZOLLONDZ (2010, S. 170) die Ergänzung um einen sechsten Ansatz als Ausdruck der heute notwendigen Mitarbeiterperspektive bzw. deren Arbeitssituation als notwendig.

Im Rahmen der Fachsprache existiert mittlerweile ein durch die *International Organization for Standardization* (ISO) genormter Fachbegriff *Qualität*, der branchen- und konzeptunabhängig ist. Qualität ist demzufolge der „*Grad, in dem ein Satz inhärenter Merkmale [...] eines Objekts [...] Anforderungen [...] erfüllt*“ (DIN EN ISO 9000:2015, S. 39).

Bezieht man den ISO-Qualitätsbegriff auf Organisationen, so ist Qualität ein Konstrukt aus Qualitätsmerkmalen, die durch das Unternehmen bei der Produktion erzeugt und so dem Produkt oder der Dienstleistung als nach der Fertigstellung inhärente Eigenschaft hinzugefügt werden. Dabei basieren die Qualitätsmerkmale auf der Qualitätsstrategie des Unternehmens und den (zukünftigen) Anforderungen verschiedener Stakeholdergruppen. Die Stakeholdergruppe der Kunden nimmt aufgrund ihrer abschließenden Beurteilung der Qualität, des Werts und des Nutzens eine besondere Rolle ein, genauso wie das Management einer Organisation als Entscheider über die zu realisierenden Anforderungen (Zollondz 2010, S. 172–193).

Die Qualitätsanforderungen werden durch verschiedene Anspruchsklassen bestimmt und können quantitativ oder qualitativ sein. Die Beurteilung bzw. Messung selbst ist dabei ein Abgleich zwischen den Anforderungen und der realisierten Beschaffenheit unter Berücksichtigung der Anspruchsklasse. Misslingt die Realisierung entspricht dies einem Fehler oder Mangel. Daher ist es Ziel des Qualitätsmanagements die Differenz zwischen Anforderungen und realisierter Beschaffenheit zu minimieren (Zollondz 2010, S. 172–193).

In den vorangegangenen Ausführungen und in der Definition der ISO wurden Produkt- und Dienstleistungsqualität gleichgesetzt. Der allgemeine Qualitäts-Begriff der ISO lässt sich daher sowohl für materielle Produkte als auch immaterielle Dienstleistungen verwenden. Bei der Operationalisierung ist jedoch darauf zu achten, dass sich Dienstleistungen von materiellen Produkten unterscheiden und eigene Qualitätsmodelle und -merkmale benötigen (Zollondz 2010, S. 187–191), auch wenn in der Praxis meist Mischtypen auftreten (Zollondz 2016, S. 216).

4.2.2 Software-, System, Daten und IT-Servicequalität nach ISO/IEC 25000 SQuaRE

Software lässt sich als immaterielles Angebotsprodukt einordnen (vgl. Abbildung 13). Daher lässt sich zwar grundsätzlich der allgemeine Produkt-Qualitätsbegriff der ISO (vgl. Kapitel 4.2.1) darauf übertragen, aber für eine praktische Anwendung auf immaterielle Dienstleistungen im Allgemeinen ist er nicht ausreichend. Stattdessen erfolgt die Operationalisierung des Qualitätsbegriffs durch den Einsatz von Qualitätsmodellen. Mithilfe der Qualitätsmodelle werden Unterbegriffe – die Qualitätsmerkmale – abgeleitet, die sich wiederum ebenfalls in zerlegbare Teilmerkmale verfeinern lassen (*Hierarchiebildung*). Dabei kann ein Teilmerkmal mehreren Qualitätsmerkmalen zugeordnet werden (Netz-/Baumbildung) (Balzert 2008, S. 461–462).

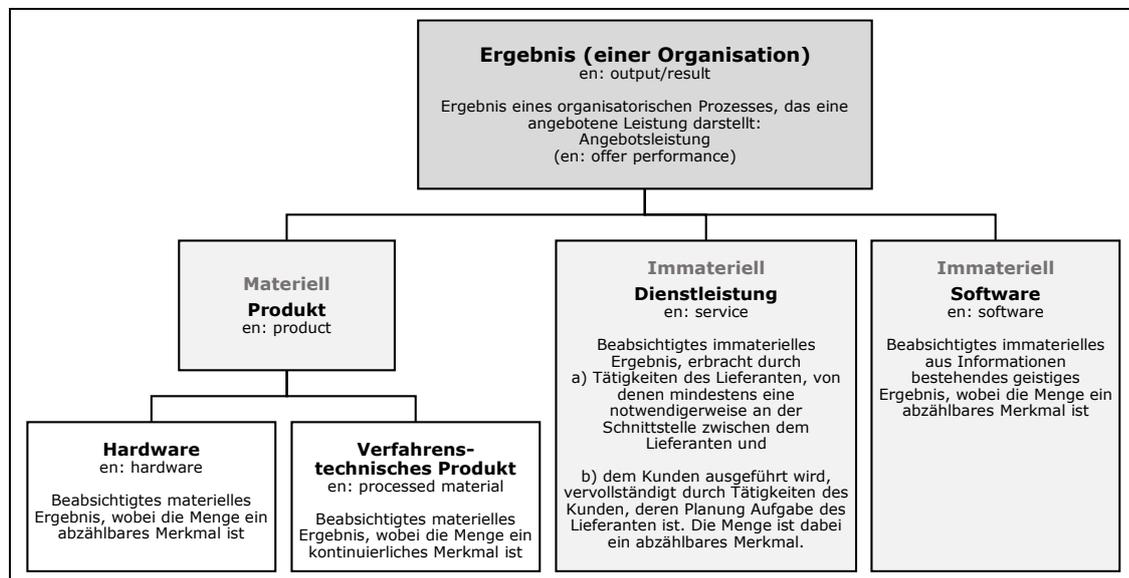


Abbildung 13: Untergliederung der Angebotsleistung einer Organisation

Quelle: in Anlehnung an ZOLLONDZ (2016, S. 217)

In der Wissenschaft und Praxis haben sich so zahlreiche Modelle entwickelt, die jedoch „aufgrund von unterschiedlichen Konzepten, Modellen, Qualitätsmerkmalen und Metriken nicht direkt miteinander vergleichbar sind“ (Malich 2008, S. 55).

Auch die ISO stellt beispielsweise ein solches Modell bzw. Modelle im Rahmen ihrer Norm *ISO/IEC 25000 (SQuaRE)* als eine zusammengeführte Serie von Standards (basierend auf ISO 9126 und ISO 14598) für Softwarequalität zur Verfügung (ISO/IEC 25000:2014(E), S. 19).

Die Norm teilt hierfür die Softwarequalität in vier Modelle auf: (1) *Quality in Use*, (2) *Software/System Product Quality*, (3) *Data Quality* und (4) *IT Service Quality*. Die Modelle sind jedoch nicht isoliert voneinander zu betrachten, da sie in gegenseitiger Abhängigkeit und/oder Beeinflussung zueinander stehen (ISO/TS

25011:2017(E), S. 9). Da das IT-Service-Qualitätsmodell erst später ergänzt wurde, wird es allerdings noch nicht vollständig in den anderen Spezifikationsdokumenten berücksichtigt (Schiller et al. 2018, S. 6).

Das **Quality-In-Use-Modell** bezieht sich auf das Ergebnis der Interaktion mit dem System und charakterisiert durch seine fünf Haupt-Merkmale – *Effectiveness, Efficiency, Satisfaction, Freedom from Risk, Context Coverage* – die Wirkung, die das Produkt auf seine Stakeholder hat. Dabei spielen die Qualität der Software, der Hardware und der Betriebsumgebung sowie die Eigenschaften der Nutzer, der Aufgabe und der sozialen Umgebung eine Rolle (ISO/IEC 25010:2011(E), S. 3). Quality in Use ist daher definiert als (ISO/IEC 25010:2011(E), S. 8):

„degree to which a product or system can be used by specific users to meet their needs to achieve specific goals with effectiveness, efficiency, freedom from risk and satisfaction in specific contexts of use“

Auffällig hierbei ist die Nutzung des *User*-Begriffs statt des *Stakeholder*-Begriffs, der wiederum in den zugehörigen Beschreibungen des Modells Betonung findet. Dabei versteht die Norm alle Stakeholder als *User*, die sie wiederum in verschiedene User-Typen klassifiziert) (ISO/IEC 25010:2011(E), S. 5–6):

- *Primärnutzer*: Interagieren zur Zielerreichung mit dem System,
- *Sekundärnutzer*: liefern Unterstützung, z. B. als Content Provider, Security Manager oder System Administratoren und
- *indirekte Nutzer*: erhalten Output ohne Systeminteraktion.

Das **System/Software-Product-Quality-Modell** der Norm kategorisiert dagegen die Produktqualität von Systemen/Software in acht Qualitätsmerkmale (mit zahlreichen Teilmerkmalen): *Functional Suitability, Performance Efficiency, Compatibility, Usability, Reliability, Security, Maintainability, Portability*. Die Norm unterscheidet demnach nicht zwischen physischer Angebotsleistung (Computer System) und immaterieller Angebotsleistung (Software). Sie verweist zudem auf die in der Praxis vorzufindende Mischformen bzw. auf die häufige Relevanz der Teilmerkmale für beide Ausprägungen (ISO/IEC 25010:2011(E), S. 4).

Bezogen auf die Software stellen die Qualitätsmerkmale die inhärenten Eigenschaften der Software dar (*wie gut die Software arbeitet*), in Abgrenzung zu den ebenfalls inhärenten Domänen-spezifischen funktionalen Eigenschaften (*was die Software fähig ist zu tun*) und den zugewiesenen Eigenschaften (z. B. Preis, Lieferdatum). Im Gegensatz zu den inhärenten Eigenschaften können die zugewiesenen Eigenschaften verändert werden ohne die Software zu verändern (ISO/IEC 25010:2011(E), S. 30).

Für das **IT-Service-Quality-Modell** ist zunächst festzuhalten, dass unter einem *Service* (dt. Dienstleistung) die Schaffung eines Wertes für den Nutzer (oder einen weiteren Service-Anbieter) verstanden wird (ISO/TS 25011:2017(E), S. 6). Darauf aufbauend wird somit unter einem *IT-Service* ein Service verstanden, der IT-Systeme nutzt, um den Wert für den Nutzer/Unternehmen zu erzeugen (ISO/TS 25011:2017(E), S. 7). Zu diesem Zweck sieht die Norm eine Unterteilung in zwei Typen vor (ISO/TS 25011:2017(E), S. 1):

1. durch ein IT-System bereitgestellte, vollständig automatisierte Services
2. durch einen Menschen, der ein IT-System nutzt, bereitgestellte Services

IT-Service-Qualität wird folglich als Grad, in dem die Eigenschaften eines IT-Services die geäußerten und implizierten Bedürfnisse für einen IT-Service zufrieden stellen können, wenn er unter spezifizierten Bedingungen genutzt wird, verstanden (ISO/TS 25011:2017(E), S. 10).

Das IT-Service-Quality-Modell sieht hierfür acht Haupt-Qualitätsmerkmale vor: *Suitability, Usability, Security, IT Service Reliability, Tangibility, Responsiveness, IT Service Adaptability, IT Service Maintainability*. Diese sind in Teilen an die Qualitätsmerkmale des Software/System-Produkt-Modells der Norm angelehnt und daher ebenso in zahlreiche Teilmerkmale zerlegt. Auch das Quality-in-Use-Modell kann der Norm nach auf den IT-Service angewendet werden. Hierfür wird das Modell inhaltlich im Teilmerkmal *Context Completeness* um *Service Level Agreements* ergänzt und die *Health* und *Safety Risk Mitigation* um Sicherheits-, Privatsphäre- und Vertraulichkeitsrisiken (ISO/TS 25011:2017(E), S. 2).

Die Norm spiegelt damit das traditionelle Dienstleistungsverständnis wieder, das sich auch in der Einteilung von ZOLLONZ (2016, S. 217) darstellt (vgl. Abbildung 13). Es unterscheidet sich somit von dem Verständnis der Service Science (gemeinsame Wertschöpfung, Wertversprechen, Ressourcen-Konfiguration) (vgl. hierzu die Ausführungen zur Service Science in Kapitel 2.3).

Das **Data-Quality-Modell** der Norm ist komplementär zum Software/System-Product-Quality-Modell (ISO/IEC 25010:2011(E), S. 32). In Bezug auf Datenqualität befasst sich die Norm nicht mit der physischen Speicherung der Daten, der Aufbewahrung von Daten für die Weiterverarbeitung, der Aufbewahrung für historische Zwecke oder mit Metadaten (ISO/IEC 25012:2008(E), S. 2).

Datenqualität wird in der Norm definiert als Grad, bis zu dem die Merkmale der Daten unter spezifizierten Bedingungen die geäußerten und implizierten Bedürfnisse zufriedenstellen (ISO/IEC 25012:2008(E), S. 3). Das zugehörige Data-Quality-Modell wird demnach definiert als Satz definierter Merkmale, die ein

Framework zur Spezifizierung von Datenqualitäts-Anforderungen und zur Evaluierung der Datenqualität bereitstellen (ISO/IEC 25012:2008(E), S. 3).

Anders als bei den bisherigen Modellen der Norm besteht das Modell aus 15 Qualitätsmerkmalen ohne weitere Untergliederung in Teilmerkmale. Stattdessen werden die Merkmale eingeteilt in *inhärente Datenqualität* und *System-abhängige Datenqualität*, wobei einige Merkmale beiden Kategorien zugeordnet werden. Inhärente Daten-Qualität bezieht sich dabei auf das intrinsische Potential der Datenqualitätsmerkmale zur Bedürfnisbefriedigung, während die System-abhängige Datenqualität sich auf den Grad der erreichten und präservierten Datenqualität darstellt (ISO/IEC 25012:2008(E), S. 4).

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass die Norm mit den vier Modellen viele Bereiche der Qualität von Informationssystemen abdeckt und ein modernes multidimensionales Verständnis präsentiert. Ebenso wird der Notwendigkeit Rechnung getragen, dass verschiedene Komponenten bzw. Bereiche eines Informationssystems qualitativ hochwertig sein müssen. Dabei zeigen sich allerdings auch Überschneidungen zwischen den verschiedenen Modellen bzw. Merkmalen, insbesondere beim IT-Service und Software/System-Produkt-Modell.

Die Norm bietet somit eine Basis für eine einheitliche Terminologie zur Verbesserung der Kommunikation, einen Orientierungsrahmen für die Spezifikationen von Qualitätsanforderungen und eine Grundlage für die Bewertung von Zwischenprodukten wie z. B. die Softwarearchitektur (Malich 2008, S. 65).

Dagegen versteht sich die ISO-Norm zwar als Stakeholder-orientierte Norm, viele der Qualitätsmerkmale sind jedoch vor allem rein Nutzer-zentriert. Das Problem findet sich auch außerhalb der Norm sowohl in spezifischen als auch allgemeinen Qualitätsmodellen wieder. Bei sich dynamisch verändernden Stakeholder-Konzepten und Zertifizierungsmodellen kann dies verschiedene Konsequenzen mit sich bringen (Brogt et al. 2017, S. 5).

In der Praxis zeigt sich zudem, dass viele in Unternehmen angewendete Qualitätsmodelle Standards wie die der ISO nicht berücksichtigen (Carvalho et al. 2017, S. 772–773). Daher finden sich für die Teilbereiche in der Forschung wie auch der Praxis zahlreiche Domänen-spezifische Modelle (z. B. SERVQUAL oder ISQUAL für Service-Qualität) wieder, die die Lücken und Probleme in spezifischen Bereichen wie der Service-Qualität adressieren.

4.2.3 Qualität digitalisierter Produkte

Für die Qualität digitalisierter Produkte existiert noch kein validiertes Qualitätsmodell, das Merkmale und Metriken zur Messung enthält (Carvalho et al. 2017, S. 766).

Durch den kombinierten Einsatz des SQUARE-Modells der ISO und den ISO-9000-Standard kann zumindest das digitalisierte realweltliche Objekt weitestgehend abgedeckt werden. Betrachtet man das digitalisierte Produkt jedoch aus Ökosystem-Perspektive, so fehlen z. B. Qualitätsmerkmale in Bezug auf die Intermediäre (mobile Applikationsqualität), die Provider (Plattformqualität, Prozessqualität), das Netzwerk (Quality of Service) und die analytische Komponente betreffend. Dies spiegelt sich auch in den zahlreichen Herausforderungen, die die verschiedenen Ökosystem-Komponenten betreffen (siehe Kapitel 3.4).

Gleichzeitig müsste ein domänenunabhängiges Modell, wie das der ISO, auf die Besonderheit digitalisierter Produkte angepasst werden. So identifizieren CARVALHO ET AL. (2017, S. 769) allein im Bereich Nutzerinteraktion in der Domäne Ubiquitous Computing sechs Qualitätsmerkmale (*Context-awareness, Mobility, Calmness, Transparency, Attention, Predictability*), die nicht in der ISO enthalten sind.

Eine weitere Studie im Rahmen von Self-Tracking-Lösungen als Stellvertreterbeispiel für digitalisierte Produkte zeigt zudem den großen Umfang an Einflussfaktoren auf die Qualität bzw. Qualitätsmerkmale solcher Produkte auf (siehe Abbildung 14). Diese werden ebenfalls nicht vollständig durch die ISO-Norm abgedeckt und zeigen daher das Potential für ein domänenabhängiges Modell (Schiller et al. 2020, S. 3693–3696).

Qualität, insbesondere in Bezug auf digitalisierte Produkte, kann heute somit als multidimensionales Konstrukt verstanden werden (Brogt et al. 2017, S. 6). Mehr noch, digitalisierter Produkte selbst ermöglichen eine neu Art von Qualitätsmanagement, indem die Produkte z. B. die kontinuierliche Überwachung von Echtzeit-Performanz-Daten ermöglichen (Porter und Heppelmann 2015, S. 102).

In Bezug auf Qualität bzw. Qualitätsmanagement digitalisierter Produkte bietet sich demnach noch ein weites Spektrum an systematischen und gezielten Verbesserungsmöglichkeiten, was auch die zahlreichen unterschiedlichen Herausforderungen bereits angedeutet haben. Dabei ist zu berücksichtigen, dass *„nicht für jedes Softwareprodukt und jeden Software-Entwicklungsprozess dieselbe Qualität erforderlich ist“* und daher *„im Rahmen einer Qualitätszielbestimmung die Qualitätsanforderungen und die zu erreichende Qualitätsstufe festgelegt werden [müssen]“* (Balzert 2008, S. 474). Dies erscheint bei den zahlreichen unterschiedlichen Praxisausprägungen digitalisierter Produkte umso wichtiger zu berücksichtigen.

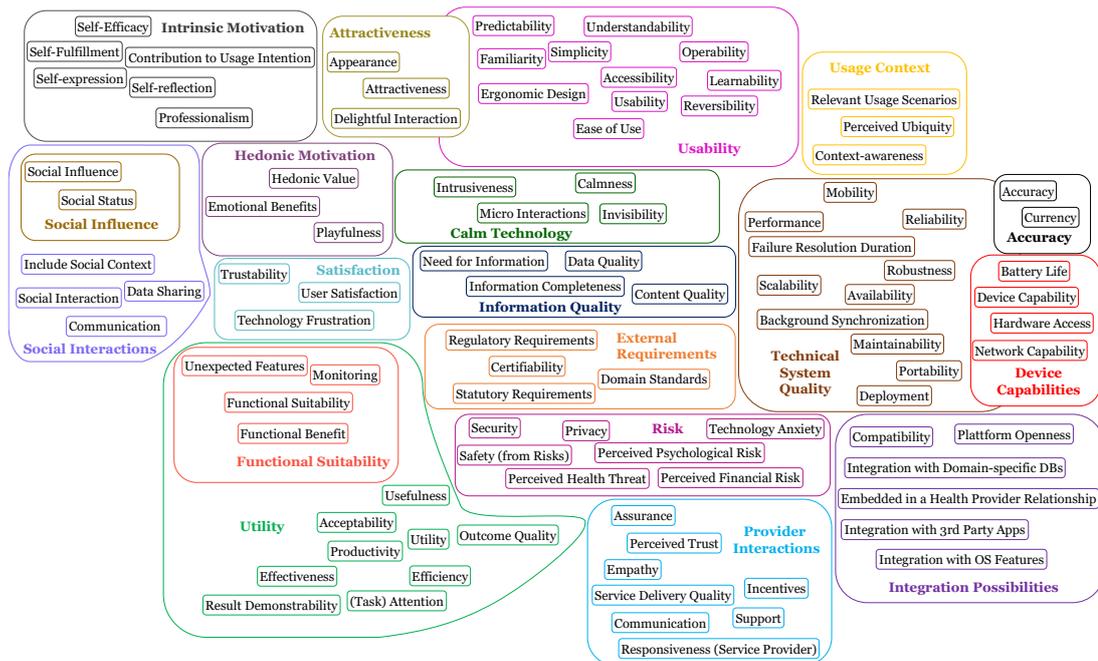


Abbildung 14: Übersicht Einflussfaktoren auf die Qualität von Self-Tracking-Lösungen als Cluster-Map

Quelle: SCHILLER ET AL. (2020, S. 3693)

Die aus dem Qualitätsmanagement stammende Reifegradmodellierung ist dabei ein möglicher Ansatz, um die Qualität digitalisierter Produkte zu verbessern. Hierbei wird ein stufenförmiger Verbesserungsplan für eine Klasse von Objekten (z. B. Prozesse oder Produkte) entwickelt, wodurch verschiedene Qualitätsstufen ermöglicht werden. Aufgrund fehlender offizieller bzw. standardisierter Qualitätsmerkmale und Qualitätsmetriken wegen der neuartigen Domäne wird auf bereits existierende Reifegradmodelle als Grundlage zurückgegriffen, um damit systematisch bisherige Empfehlungen für die Entwicklung von digitalisierten Produkten zusammenzuführen, wie im Folgenden näher erläutert wird.

4.3 Vorstellung der konzeptionelle Grundlagen der Reifegradmodellierung

Reifegradmodelle (engl. *Maturity Models* oder *Assessment Models*)¹⁵ zählen zu den Referenzmodellen, die wiederverwendbare Modelle darstellen, die allgemeingültige Lösungskonzepte für eine definierte Domäne bereitstellen (Mettler 2010, S. 76). Reifegradmodelle finden sich daher seit den 1970ern in verschiedensten Ausprägungen (z. B. bezogen auf Umfang der Betrachtungsgegenstände, Architektur, Verwendungszweck) in unterschiedlichen Domänen (z. B. IT Management,

¹⁵ Weitere englische Synonyme: *Capability Model*, *Process Improvement Model*, *Maturity Grid*, *Competency Model* und *Excellence Model* (Wendler 2012, S. 1321). Weitere deutsche Synonyme, die aber eher selten vorkommen: *Leistungsbewertungs- und Leistungssteigerungsmodell* (Christiansen und Gausemeier 2010), *Optimierungsmodelle* (Winter und Mettler 2016, S. 165) und *Kompetenzmodell* (Ahlemann et al. 2005, S. 14).

Knowledge Management oder Supply Chain Management) der Forschung und Praxis wieder. Dominierend hierbei ist allerdings die Softwareentwicklungsdomäne (Fraser et al. 2002, S. 246; Mettler 2010, S. 77; Pöppelbuß und Röglinger 2011, o. S.; Winter und Mettler 2016, S. 170; Wendler 2012, S. 1328).

Ihren Ursprung haben sie entgegen der allgemeinen Wahrnehmung im Bereich des Qualitätsmanagements und nicht in der Softwareentwicklung. Dabei reichen erste Ansätze bis in die 1930er zurück (Wendler 2014, S. 32). Crosbys *Quality Management Maturity Grid* und Nolans *Stufenmodell der Datenverarbeitung*, beide von 1979, stellen dabei die bekanntesten und frühesten Werke dar, die bereits verschiedene bis heute gültige Merkmale von Reifegradmodellen (z. B. den stufenförmigen Aufbau) aufweisen (Fraser et al. 2002, S. 244; Wendler 2014, S. 32–34).

Prominente moderne Vertreter sind dagegen das *Capability Maturity Model (CMM)* für Software Process Maturity oder das *SPICE-Modell* (Software Process Improvement and Capability Determination) der ISO/IEC (Mettler 2010, S. 77). Das aus der Softwareentwicklung stammende CMM verhalf dabei mit seiner Veröffentlichung in den 1990er Jahren dem Konzept der Reifegradmodelle zu einer breiten, öffentlichen Wahrnehmung, die bis heute viele Reifegradmodellkonzeptionen beeinflusst (Wendler 2014, S. 32) (mehr zu CMM und SPICE in Kapitel 4.3.4).

Eine allgemeingültige Definition für Reifegradmodelle existiert jedoch nicht. Zum Teil wird in der Literatur sogar vermieden eine klare, eigene Definition auszuformulieren. Neben zum Teil oberflächlichen Umschreibungen wird stattdessen auf typische Merkmale, Ziele, Nutzen oder die Funktionsweise eingegangen, um das Grundverständnis darzulegen (Ahlemann et al. 2005, S. 12; Wendler 2012, S. 1318; 2014, S. 33). Dabei bleiben oft Fragen bzgl. der zentralen Komponenten (z. B. Reife-Verständnis oder enthaltene Elemente) offen und es existieren Widersprüche zwischen verschiedenen Beschreibungen bzw. Definitionen hinsichtlich „der Art der Anwendung (Prozesse vs. Organisationen vs. Menschen) und in der Art des generierten Nutzens (Verbesserung vs. Beschreibung)“ (Wendler 2014, S. 33).

Aus Design-Science-Perspektive kann das entstehende Reifegradmodell, wie bereits in Kapitel 1.4 erläutert, je nach Innovationsgrad der Domäne bzw. Umfang der zur Verfügung stehenden Wissensbasis als Design Theory, Methoden-Artefakt oder als Implementierung klassifiziert werden (March und Smith 1995, S. 253–254; Mettler 2009, o. S.; Mettler und Rohner 2009, o. S.; Mettler 2010, S. 78).

In den nachfolgenden Abschnitten werden daher die Grundlagen der Reifegradmodellierung dargereicht. Hierbei werden das begriffliche Grundverständnis und das Ziel der Reifegradmodellierung im Allgemeinen diskutiert sowie die zentralen

Elemente und Reifegradmodell-Typen vorgestellt. Die Analyse des allgemeinen Vorgehens der Entwicklung von Reifegradmodellen dient als Grundlage für das Ableiten einer Vorgehensweise für diese Arbeit und wird als zusammenfassendes Ergebnis am Ende in der Zusammenfassung dargereicht. Die Umsetzung bzw. die konkrete Ausgestaltung erfolgt in den nachfolgenden Kapiteln.

4.3.1 Linguistisches Grundverständnis des Reifegradmodell-Begriffs und Konzeption der Wirklichkeitsnachbildung

Linguistisch lässt sich das Reifegradmodellkonzept in Reife und Modell zerlegen:

Die Reife als Übersetzung des englischen *Maturity* kann dabei dem Duden nach als Zustand, Ausgewogenheit oder Abgerundetheit verstanden werden (Dudenredaktion o. J.f; Wendler 2014, S. 33). Im Kontext der Reifegradmodellierung wird meist die Reife von Fähigkeiten gemessen, also die Erfüllung von Funktionen bzw. Anforderungen (Dudenredaktion o. J.b; Wendler 2014, S. 33).

Der Modell-Begriff wiederum ist analog zum Reifegradmodell-Begriff in der Literatur nicht eindeutig definiert. Der Duden bietet hierfür zahlreiche Bedeutungen, wie Muster eines herzustellenden Gegenstandes oder Abbildung von inneren Beziehungen/Funktionen von Objekten (Dudenredaktion o. J.c; Wendler 2014, S. 33).

In der Wirtschaftsinformatik wird meist auf die drei konstituierenden Merkmale nach Stachowiak verwiesen (Stachowiak 1973, S. 131–133; Ahlemann et al. 2005, S. 10; Wendler 2014, S. 33):

- *Abbildungsmerkmal*: Modelle bilden ab bzw. repräsentieren stets natürliche oder künstliche Originale, also einen Realweltausschnitt wie z. B. ein betriebliches Objektsystem.
- *Verkürzungsmerkmal*: Modelle bilden nur für Modellierer und Modellnutzer relevante Attribute eines Originals ab, sie verkürzen demnach den Realweltausschnitt durch Abstraktion.
- *Pragmatisches Merkmal*: Modelle dienen den Zwecken von menschlichen oder künstlichen Modellnutzern in einem bestimmten Zeitintervall (für wen, wann, wozu).

Für die Reifegradmodellierung bedeutet dies, dass *„Reifegradmodelle somit zunächst abstrahiert und auf das Wesentliche reduziert [sind]. Ihr Zweck ist die Messung von Fähigkeiten zur Erfüllung bestimmter Anforderungen, damit ein Betrachtungsobjekt einen ‚perfekten‘ Zustand erreichen kann“* (Wendler 2014, S. 33).

Darüber hinaus werden, insbesondere in der Wirtschaftsinformatik, zwei verschiedene Modellverständnisse unterschieden: das *abbildungsorientierte* und das *konstruktionsorientierte* Modellverständnis.

Einer engen Auslegung des vor allem in der Betriebswirtschaftslehre favorisierten abbildungsorientierten Modellverständnis folgend, ist ein Modell eine Repräsentation eines Ausschnitts der Realität. Es handelt sich um eine passiv-rezeptive Wirklichkeitsnachbildung, welche davon ausgeht, dass die Wirklichkeit objektiv wahrgenommen und (zumindest strukturerhaltend) nachgebildet werden kann. Demzufolge gelangt jeder Modellierer durch Wahrnehmung, Aufmerksamkeit und Beherrschen der Modellsprache immer wieder zu dem exakt gleichen Abbild. Diese Annahme und die damit verbundene naiv-realistische Erkenntnisposition bildet gleichzeitig die Basis für die grundlegende Kritik an diesem Verständnis, da nicht berücksichtigt wird, dass individuelle Sinneswahrnehmungen, spezifische Erfahrungen, etc., das Ergebnis der Modellbildung beeinflussen können. Zwei Modellierer kommen daher eher selten zu identischen Ergebnissen, wodurch die geforderte homomorphe Abbildung oder gar eine formale Prüfung problematisch werden (Bretzke 1980, S. 32–33; Wallner 1993, S. 20; Schütte 1998, S. 41–55; Ahlemann et al. 2005, S. 10–11).

Das konstruktionsorientierten Modellverständnis versucht der Kritik am abbildungsorientierten Modellverständnis zu begegnen, indem ein Modell als *„Ergebnis einer Konstruktion eines Modellierers, der für Modellnutzer eine Repräsentation eines Originals zu einer Zeit als relevant mit Hilfe einer Sprache deklariert“* (Schütte 1998, S. 59) verstanden wird. Die Modellkonstruktion wird hierbei also als subjekt-abhängiger Prozess gesehen, bei dem der Modellierer durch Kreativität und Eigenständigkeit aktiv am Strukturgebungsprozess wirkt. Das Original stellt dabei ein beliebiges Problem dar, von dem durch die gedankliche Konstruktion des Modellierers ein internes, mentales Modell geschaffen wird, dessen Explikation in das explizite, externe Modell mündet. Wirken multiple Modellierer am Modellbildungsprozess mit, so müssen entsprechend Teilmodelle integriert werden. Im Rahmen einer konsensorientierten Wahrheitskonzeption können darüber hinaus neben den Modellbildern auch (potenzielle) Modellnutzer mit einwirken, die wiederum den Zweck der Modellbildung vorgeben. Der Zeitfaktor gibt dabei den Modellerstellungszeitpunkt an sowie die Dauer der Gültigkeit des Modells. Mit Sprache ist in der Definition dagegen das künstliche Sprachsystem gemeint ist, das zur Beschreibung der Modellinhalte eingesetzt wird (Schütte 1998, S. 49–62; Ahlemann et al. 2005, S. 11).

Da hier das Modell als Repräsentation statt Abbild verstanden wird, ist demnach auch die Möglichkeit unterschiedlicher Ausprägungen mitinbegriffen. Die Ähnlichkeit zwischen Realität und Modell kann daher nicht als Gütemaß für die entstehenden Modelle dienen (Schütte 1998, S. 62).

Für die Reifegradmodellierung konstatieren AHLEMANN ET AL. (2005, S. 11–12), dass aufgrund des universellen Geltungsanspruchs eines meistens konsensorientierten Konstruktionsprozesses (z. B. durch Einbeziehung der Modellnutzer) und einer Anwendung und Bewertung durch eine Vielzahl von Subjekten der Reifegradmodellierung implizit ein konstruktionsorientiertes Modellverständnis zugrunde liegt.

Dadurch lässt sich die Reifegradmodellierung in das Methodenprofil der Wirtschaftsinformatik und der Design Science Research einordnen (siehe hierzu auch die Ausführungen der forschungsmethodischen Positionierung insb. der Einordnung der Reifegradmodellierung in die Referenzmodellierung in Kapitel 1.4).

4.3.2 Ziel, Strukturkomponenten und Einsatzzweck von Reifegradmodellen

Das grundlegende Ziel eines Reifegradmodells wird in der Ausgestaltung von Ebenen eines Reifepfades für eine Klasse von Objekten verstanden (Becker et al. 2009, S. 249; Röglinger et al. 2012, S. 330). Dies basiert einerseits auf der Annahme, dass prognostizierbare Muster vorhanden sind, die sich als Ebenen konzeptualisieren lassen und andererseits ein Wachstum bzw. eine Reifung, z. B. eines Unternehmens, eines Produktes oder der IT, existiert (Solli-Sæther und Gottschalk 2010, S. 279).

Unter dem Reifepfad wird dementsprechend die Entwicklung des Betrachtungsgegenstands von einem initialen Zustand zu einem fortgeschrittenen Zustand mit ggf. einer beliebigen Anzahl von Zwischenzuständen verstanden (Fraser et al. 2002, S. 245). Das meist sequentielle, hierarchische und schwer reversible Fortschreiten auf dem Reifepfad (Solli-Sæther und Gottschalk 2010, S. 279) durch die Involvierung verschiedenster (organisationaler) Aktivitäten und Strukturen (Solli-Sæther und Gottschalk 2010, S. 279) bedeutet somit „eine stete Steigerung der Leistungsfähigkeit bzw. Güte des betrachteten Objekts“ (Becker et al. 2009, S. 249).

Die Reifegrade sind hierfür „durch festgelegte Merkmale des zu untersuchenden Objekts und durch die jeweils zur Erreichung des Reifegrads erforderlichen Merkmalsausprägungen definiert“ (Becker et al. 2009, S. 249). Zur Feststellung des Reifegrads dienen als Beurteilungsskala Assessment-Methoden (dt. Methoden der Reifebewertung) wie z. B. Fragebögen (Becker et al. 2009, S. 249–250).

Die Ausgestaltung des Reifepfads kann dabei

- deskriptiv für eine *IST-Zustandsbewertung* (Bewertungsmodelle, engl. *Assessment Models*),
- präskriptiv für eine *IST-Zustandsverbesserung* (Optimierungsmodelle, engl. *Maturity/Capability Models*) oder
- komparativ für ein internes oder externes *Benchmarking*

sein (de Bruin et al. 2005, o. S.; Becker et al. 2009, S. 249; Röglinger et al. 2012, S. 330; Winter und Mettler 2016, S. 165).

Präskriptive Reifegradmodelle bieten Hilfestellung für einen Problembereich durch Formalisierung und Kodifizierung von Verbesserungs- bzw. Good-Practice-Aktivitäten innerhalb eines evolutionären mehrstufigen bzw. graduellen Prozesses (Fraser et al. 2002, S. 244; Mettler 2010, S. 77). Dadurch können Reifegradmodelle bei Anwendern „ein verstärktes Bewusstsein für die analysierten Sachverhalte hinsichtlich deren Status, Wichtigkeit, Potenzialen, Anforderungen, Komplexität, usw.“ schaffen und „als Rahmen und Vorlage für die Einführung eines systematischen und zielgerichteten Verbesserungsprozesses dienen; und somit die Sicherstellung einer gewissen Qualität und die Vermeidung von Fehlern unterstützen“ (Wendler 2014, S. 34).

Inwieweit dabei *Reife* als finales Ergebnis der letzten Stufe oder als Vollendungsstatus jeder einzelnen Stufe begriffen wird, hängt von der zugrundeliegenden Sichtweise ab, die wiederum Einfluss auf die Ausgestaltung des Modells hat:

Bei der *Lebenszyklus*-Variante wird erst nach Durchlaufen aller Stufen und Abschließen der letzten Stufe das Konzept der Reife erlangt bzw. vollendet. Die Variante schließt sich damit der Evolutionist-Perspektive an, wonach die Entwicklung als Logik aufeinander folgender Stufen eines gerichteten Pfades mit unausweichlichem Endzustand erklärt werden kann. Reifegradmodelle dieser Sichtweise eignen sich daher eher für Überwachung und Steuerung von Objekten (King und Kraemer 1984, S. 472–473; McBride 2010, S. 243; Wendler 2014, S. 33–34).

Bei der Variante der *potentiellen Verbesserung* werden zwar ebenfalls alle Stufen inkl. einer finalen Stufe durchlaufen, die Reife stellt hierbei allerdings eine potentielle Verbesserung dar, die auf jeder Stufe erreicht werden kann. Darüber hinaus kann der Nutzer entscheiden, ob die Reife durch eine weitere Stufe zu einem Zeitpunkt zu verbessern sei. Damit liegt der Fokus weniger auf dem Durchlaufen aller Stufen, sondern auf den Verbesserungen, die auf jeder einzelnen Stufe erreicht werden können. Reifegradmodelle dieses Variante sind somit vielseitiger einsetzbar und das Verständnis schließt sich damit eher dem Verständnis evolutionärer

Modelle an. Evolutionäre Modelle konzentrieren sich auf Veränderungsmechanismen (lokale Optimierung) und sind agnostisch in Bezug auf die Richtung der Veränderung oder eines etwaigen Endzustands (King und Kraemer 1984, S. 472–473; McBride 2010, S. 243; Wendler 2014, S. 33–34).

Die Reife selbst lässt sich in drei verschiedene Konzepte unterscheiden: die Prozessreife, die Objektreife und die Personenreife. Bei der *Prozessreife* steht die Verbesserung von spezifischen Prozessen und damit Aktivitäten und Praktiken bezogen auf diesen Prozess im Fokus (z. B. durch Einführung von Metriken). Bei der *Objektreife* steht die Verfeinerung von spezifischen Objekten (z. B. Software, Maschinen) und damit die Produkteigenschaften im Fokus. Bei der *Personenreife* geht es um die Fähigkeit des Personals Wissensbildung zu ermöglichen und Fertigkeiten zu verbessern. Reifegradmodelle können dabei eindimensional in ihrer Reifedefinition sein, indem sie sich nur auf eines der Konzepte konzentrieren, oder einen multidimensionalen Ansatz verfolgen und für jede im Modell betrachtete Dimension bzw. jeden Themenbereich Reife einzeln definieren (de Bruin et al. 2005, o. S.; Mettler 2010, S. 82–83; Pöppelbuß und Röglinger 2011, o. S.).

In der Praxis treten bei den Reifegradmodellen allerdings auch Mischformen auf, die beispielsweise sowohl deskriptiv als auch präskriptiv sind (Röglinger et al. 2012, S. 334). DE BRUIN ET AL. (2005, o. S.) sehen die Modell-Ausprägungen daher als evolutionäre Phasen eines Modell-Lebenszyklus: Das initiale Reifegradmodell ist dabei zunächst deskriptiv, um ein tieferes Verständnis über den Ist-Zustand zu erhalten. Danach entwickelt es sich zu einem präskriptiven Modell weiter, um schließlich nach Anwendung in zahlreichen Organisationen als komparatives Modell eingesetzt werden zu können.

Zu einem ähnlichen Schluss gelangen auch CHRISTIANSEN UND GAUSEMEIER (2010, S. 345–346), die den Einsatz eines Reifegradmodells in der Metapher des Regelkreises wiederfinden (vgl. Abbildung 15): Mittels Datenerhebungstechniken und -verfahren wird der Ist-Zustand eines Systems (z. B. Unternehmen, Organisationseinheit oder Prozess) erfasst. Die aufbereiteten Informationen werden zur Erstellung eines Abbilds abstrahiert und interpretiert. Das Abbild bildet dann die Grundlage für einen Soll-/Ist-Vergleiches (der Soll-Zustand wird dafür u. a. aus der Unternehmensstrategie abgeleitet). Aus dem Ergebnis des Vergleichs kann schließlich ein Maßnahmenplan abgeleitet werden. Dabei kann das Reifegradmodell sowohl bei der Leistungsbewertung (deskriptiv) als auch/oder bei der Leistungssteigerung (präskriptiv) eingesetzt werden.

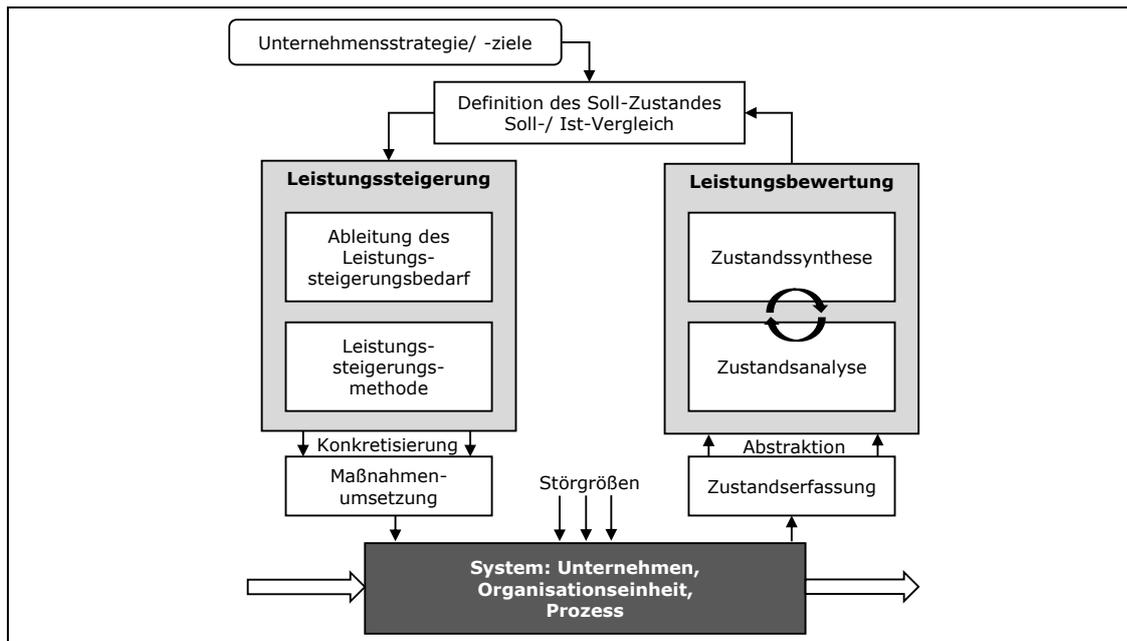


Abbildung 15: Schematischer Ablauf des Einsatzes von Reifegradmodellen

Quelle: CHRISTIANSEN UND GAUSEMEIER (2010, o. S.)

Zur Feststellung und Bewertung der Reife setzt sich ein Reifegradmodell aus den folgenden zentralen Strukturkomponenten zusammen, die sich so in den meisten Reifegradmodellen wiederfinden lassen (Fraser et al. 2002, S. 246; Lasrado et al. 2015, o. S.):

- Mehrere *Reifegrade* (auch Ebenen oder Stufen genannt), die die Reifeausprägungen des Untersuchungsobjekts darstellen, einen Deskriptor (z. B. initial, defined, managed) besitzen und eine Beschreibung bzw. Zusammenfassung der Merkmale für jeden Grad beinhalten;
- Mehrere *Gestaltungsdimensionen* (auch Prozessgebiete, Benchmark Variablen, Capability oder kritische Erfolgsfaktoren genannt) mit zugehörigen Elementen oder (kumulativen) Aktivitäten für jede Dimension, als auch Beschreibungen für jedes Element oder jede Aktivität.

Ergänzende Komponenten sind darüber hinaus (Christiansen und Gausemeier 2010, S. 345; Lasrado et al. 2015, o. S.):

- Unterkategorien der Gestaltungsdimensionen,
- der Reifepfad (oft linear und unidirektional),
- die Bewertungsmethode zur Bestimmung der Reife (Maturity Score) oder
- die Leistungssteigerungsmaßnahmen (z. B. Best Practices).

In der Abbildung 16 sind die Komponenten als schematische Darstellung einer generischen Reifegradmodellstruktur zusammengefasst.

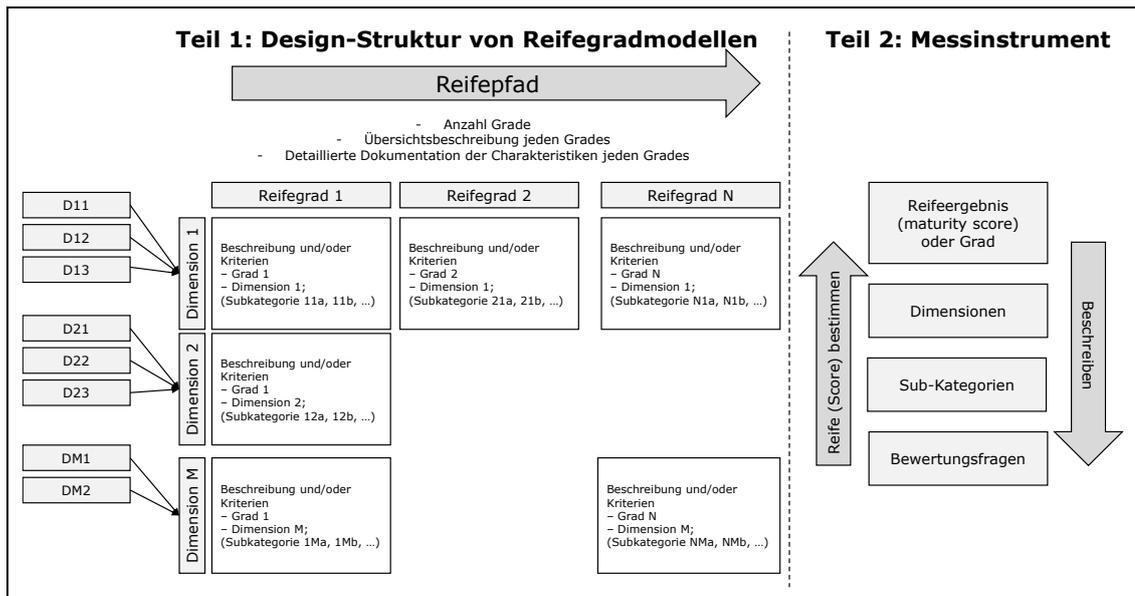


Abbildung 16: Schematische Darstellung einer generischen Reifegradmodellstruktur

Quelle: in Anlehnung an LASRADO ET AL. (2015, o. S.)

4.3.3 Klassifikation von Reifegradmodellen

Grundsätzlich lassen sich Reifegradmodelle in drei Basistypen einteilen (Fraser et al. 2002, S. 246; Winter und Mettler 2016, S. 165–167):

- *Rasterbasierte Modelle* (engl. Maturity Grids) beinhalten textuelle Beschreibungen jeder Aktivität auf jedem Reifegrad. Die Bewertung findet mithilfe eines vorgegebenen Rasters statt, sodass ihr Komplexitätsgrad eher als moderat eingestuft wird.
- *Hybride Reifegradmodelle* (engl. Hybrids bzw. Likert-like Questionnaires) ermöglichen die Bewertung eines Unternehmens anhand Hinweisen zu bewährten Verfahrensweisen (*statement(s) of good practice*). Sie stellen damit mehr als rein textuelle Reifebeschreibungen dar. Aufgrund der fehlenden Aktivitätsbeschreibung gibt es unter Umständen keine (erkennbare) Struktur des Modells, sodass sie auch als „nicht ausgereifte formal strukturierte Reifegradmodelle“ (Winter und Mettler 2016, S. 167) verordnet werden.
- *Formal strukturierte Modelle* (engl. CMM-like Models) wiederum stellen die anspruchsvollsten und ggf. komplexesten Reifegradmodelle dar. Ihre Architektur ist eher formal (z. B. durch ein Metamodell konzeptualisiert). Jede Dimension ist durch gemeinsame Eigenschaften, zentrale Maßnahmen und zugehörige Ziele ausgestaltet. Die Reifebeurteilung ist deswegen durch die Beantwortung mehrerer Fragekomplexe gekennzeichnet, sodass „die Datenerhebung meist softwaretechnisch unterstützt [...] oder durch externe Experten erhoben“ (Winter und Mettler 2016, S. 165) wird.

Während die Basistypen-Einteilung eher anhand der Architektur und Komplexitätsgrads vorgenommen wurde, klassifizieren CHRISTIANSEN UND GAUSEMEIER (2010, S. 346–348) alternativ Reifegradmodelle anhand

- ihrer Anpassungsmöglichkeit an die Besonderheiten von Unternehmen,
- den mit der Einführung verbundenen Aufwand,
- der unternehmensübergreifenden Vergleichbarkeit und
- die daraus resultierende Eignung für Unternehmen bzw. Problembereiche.

Die sich daraus ergebenden fünf Klassen und ihre jeweiligen Merkmalsausprägungen sind in Tabelle 27 aufgeführt.

Bei *Klasse 1 (Flexible Regelwerke)* handelt es sich jedoch um einen neuartigen Typ, dem zum Zeitpunkt der Publikation noch keine Modelle zugeordnet werden konnten. Reifegradmodelle der *Klasse 2 (Starre Regelwerke)* sind z. B. die bekannten Modelle der Softwareentwicklung Capability Maturity Model Integration (CMMI) – eine Weiterentwicklung des CMM – und SPICE. Die betriebswirtschaftlichen Modelle Six Sigma und Balanced Scorecard stellen dagegen Repräsentanten der *Klasse 5 (Pragmatische Wirkkettenanalysen)* dar (Christiansen und Gausemeier 2010, S. 346–348).

Obwohl CHRISTIANSEN UND GAUSEMEIER (2010, S. 346–348) die Eignung der verschiedenen Klassen rein auf Produktions- bzw. Fertigungsprozesse beziehen, ist der Einsatz von Reifegradmodellen, wie auch eingangs angemerkt, nicht auf eine spezifische Domäne oder einen spezifischen Problembereich begrenzt.

Modellklasse	Elemente und Maßnahmen des Modells	Aufwand der Modell-Einführung	Anpassbarkeit des Modells	Unternehmensvergleich	Für wen eignet sich das Modell
1. Flexible Regelwerke	<ul style="list-style-type: none"> - feste Elemente und zugehörige Maßnahmen für Bewertung/Steigerung ergänzbar 	hoch	Möglich, methodisch unterstützt	Möglich	Für hoch spezialisierte Unternehmen, zur Optimierung von Produktentwicklungsprozessen
2. Starre Regelwerke	<ul style="list-style-type: none"> - basieren auf industrieller Praxis, stufenförmige Leistungssteigerung, offen welche Steigerung sinnvoll ist 	Hoch aufgrund von Auditierung durch Dritte	Nicht möglich	Möglich	<ul style="list-style-type: none"> - Unternehmen, die standardisierte Reifegrade als Qualitätsmerkmale oder Vergleichsmöglichkeit benötigen; - zur Standardisierung von Produktentwicklungsprozessen
3. Methodische Instrumentarien	<ul style="list-style-type: none"> - Hilfen zur Ausgestaltung vorhanden 	-	Möglich, da nur Rahmen vorgegeben	Nicht möglich	<ul style="list-style-type: none"> - hochgradig individualisiertes Modell notwendig, - schnell einsetzbar, - integrative Effizienzsteigerung von Produktentwicklungs- und Produktfertigungsprozessen
4. Plakative Zustandsdarstellungen	<ul style="list-style-type: none"> - wenige Elemente, - Fokus Leistungsbewertung, - meist keine Maßnahmen für Leistungssteigerung 	gering	Meist nicht erforderlich	Möglich	Überblick über Leistungsfähigkeit eines bestimmten Unternehmensbereichs in kurzer Zeit
5. Pragmatische Wirkkettenanalysen	<ul style="list-style-type: none"> - Meist Kennzahlen als Basis für Wirkketten zur Identifizierung von Stellhebeln, - keine Maßnahmen für Leistungssteigerung 	Voraussetzung vorhandenes Kennzahlensystem	-	Meist nicht möglich	Leistungsbewertung und Leistungssteigerung von Produktions- bzw. Fertigungsprozessen

Tabelle 27: Klassifikation von Reifegradmodellen nach Christiansen und Gausemeier

Quelle: in Anlehnung an CHRISTIANSEN UND GAUSEMEIER (2010, S. 346-348)

4.3.4 Kurzvorstellung bekannter Reifegradmodelle der Softwareentwicklung

Die Entwicklung des CMM, dem Vorgänger des späteren CMMI, begann 1986 am SEI der Carnegie Mellon University aufgrund einer Initiative des US-Verteidigungsministeriums. Ziel war die Entwicklung eines Frameworks zur Verbesserung von Softwareprozessen, um die erhoffte Produktivität und Qualitätsgewinne durch den Einsatz neuer Software-Methodologien und -Technologien im Unternehmen zu erzielen (Paulk et al. 1993, S. 18). Damit basierte das Vorgehen auf der Annahme einer Abhängigkeit zwischen Software-Produktqualität und Software-Prozessqualität.

Das Framework sollte die Entwickler befähigen, Prozessverbesserungsstrategien auszuwählen, indem es ihnen erlaubte die aktuelle Prozessreife zu bestimmen und kritische Faktoren bzgl. Softwarequalität und Prozess zu identifizieren. Dem Konzept lagen hierfür verschiedene Ansätze aus dem Bereich der Produktqualität zugrunde. Es baute insbesondere auf den Richtlinien der statistischen Qualitätskontrolle von Walther Shewart auf, die später durch andere Vertreter wie Edwards Deming, Philip Crosby und Joseph Juran weiterentwickelt worden waren (Paulk et al. 1993, S. 19–20; CMMI Product Team 2011, S. 17).

Das sich daraus ergebende Modell weist eine Stufenform auf, die eine kontinuierliche, evolutionäre Prozessverbesserung vorsieht und dafür fünf aufeinander aufbauende Reifegrade (sog. *Maturity Levels*) definiert (siehe Tabelle 28). Jeder Reifegrad umfasst wiederum verschiedene Schlüssel-Prozessgebiete (sog. *Key Process Areas*), die die Verbesserungsbereiche darstellen. Dafür werden je Prozessgebiet verschiedene Ziele definiert, die es durch Schlüsselpraktiken (Infrastruktur, Aktivitäten) gilt zu erreichen. Dabei beschreiben die Schlüsselpraktiken *was zu tun ist*, aber geben nicht vor, *wie dies zu tun ist*. Um jedoch einen neuen Reifegrad zu erreichen, müssen alle Schlüssel-Prozessgebiete dieses Grades erfüllt werden. Prozessgebiete des zweiten Reifegrades (Repeatable) sind z. B. Requirements Management, Software Project Planning oder Software Configuration (Paulk et al. 1993, S. 19–26).

Die erste Veröffentlichung von CMM in der Version 1.0 erfolgte 1991, gefolgt von der Version CMM 1.1 1993. Eine Version 2.0 wurde 1997 allerdings frühzeitig zurückgezogen. Stattdessen waren parallel weitere Modelle für andere Bereiche entwickelt worden, die jedoch zum Teil inkompatibel zueinander waren. Zur Integration der verschiedenen Modelle wurde das CMMI-Projekt gestartet (Kneuper 2007, S. 11–12).

Reifegrad	Beschreibung
(1) Initial	Instabiler, chaotischer ad hoc Entwicklungsprozess, dessen Erfolg vollständig abhängig ist von den am Prozess beteiligten individuellen Stakeholdern (insb. Prozessmanager und Entwicklungsteam) und daher Krisen wie Budgetüberziehungen schnell passieren.
(2) Repeatable	Policies, grundlegende Managementmechanismen (z. B. Tracking von Kosten, Zeitplan oder Funktionalität) und Projektstandards sind eingeführt, die mithilfe von Erfahrungen aus früheren Projekten verknüpft werden. Der daraus entstehende Prozess kann jedoch für Projekte unterschiedlich aussehen, früherer Projekterfolg kann jedoch wiederholt werden.
(3) Defined	Der Entwicklungsprozess ist angepasst auf das Unternehmen, standardisiert und dokumentiert und integriert kohärente, gut definierte Softwareentwicklungs- und Managementprozesse. Ein unternehmensweites Trainingsprogramm stellt die dafür notwendigen Fähigkeiten und Wissen sicher. Die sich daraus ergebenden Aktivitäten sind daher als stabil und wiederholbar anzusehen.
(4) Managed	Mittels quantitativer Qualitätsziele für Produkte und Prozesse sowie umfangreiche Messungen, z. B. von Produktivität und Qualität, wichtiger Prozessaktivitäten aller Projekte, sollen Softwareprodukte mit einer vorhersehbar hohen Qualität erzeugt werden. Unterstützt wird dies über eine organisationsweite Prozessdatenbank und die Evaluierung von Prozessen und Produkten. Risiken, z. B. für eine neue Anwendungsdomäne, oder Probleme im bestehenden Projekten können so frühzeitig antizipiert und eingeschätzt werden.
(5) Optimizing	Die kontinuierliche Verbesserung in Form inkrementeller Verbesserungen der Prozesse oder Innovationen von Methoden und Technologien ist Teil der täglichen Geschäftsaktivitäten. Ziel ist Ineffizienz, Fehler und Verschwendung zu identifizieren und zu reduzieren bzw. zu beseitigen.

Tabelle 28: CMM V1.1 Reifegrade Beschreibung

Quelle: in Anlehnung an PAULK ET AL. (1993, S. 21–23)

Ziel des CMMI-Projekts war die Entwicklung eines Frameworks, das die bisherigen Modelle (das *Capability Maturity Model for Software*, das *Systems Engineering Capability Model* und das *Integrated Product Development Capability Maturity Model*) und etwaige Verbesserungen dieser in einem Modell zusammenführt. Daraus entwickelte sich das später als *CMMI for Development* bekannte Modell. In der weit verbreiteten CMMI-Version V1.3 aus dem Jahr 2010 wurde das Modell um zwei weitere Modelle, *CMMI for Acquisition* und *CMMI for Services*, ergänzt. Dabei handelt es sich zunehmend um Referenzmodelle, in deren Fokus die aus dem CMM bekannten Prozessgebiete stehen. Diese gilt es an die Erfordernisse und Gegebenheiten des jeweiligen Unternehmens anzupassen (CMMI Product Team 2011, S. 17–21).

Auch im CMMI werden Prozessgebiete als ein „Satz von zusammengehörenden Praktiken eines Gebiets, die, zusammen umgesetzt, einen Satz von Zielen erfüllen, die wesentliche Verbesserungen in diesem Gebiet ermöglichen“ (CMMI Product Team 2011, S. 462) verstanden.

Jedes CMMI-Modell besitzt dabei 16 Kernprozessgebiete, die die grundlegenden Konzepte für die Prozessverbesserung in dem jeweiligen Interessensgebiet (*Acquisition, Development, Services*) beinhalten. Beispiele für Prozessgebiete sind das Konfigurationsmanagement, die Organisationsweite Aus- und Weiterbildung oder die Prozess- und Produkt-Qualitätssicherung (CMMI Product Team 2011, S. 21–23).

Wie schon beim CMM werden auch beim CMMI Grade als Entwicklungsweg beschrieben. Im Unterschied zum CMM werden beim CMMI allerdings zwei verschiedene Typen von Grade und damit zwei unterschiedliche Wege der Verbesserung differenziert, die *Fähigkeitsgrade* und die aus dem CMM bekannten *Reifegrade*. Für beide Typen gilt jedoch, dass für die Erreichung eines Grades alle zugehörigen Verbesserungsziele erfüllt sein müssen (CMMI Product Team 2011, S. 33–44).

Fähigkeitsgrad	Beschreibung
(0) Incomplete	Der Prozess ist unvollständig, da er nicht oder nur in Teilen durchgeführt wird und dadurch ein oder mehrere Prozessgebietsziele nicht erfüllt werden.
(1) Performed	Der Prozess wird durchgeführt, d. h. alle notwendigen Schritte für die Ergebniserfüllung sind enthalten, wodurch die spezifischen Prozessgebietsziele erfüllt sind. Der Prozess ist jedoch nicht institutionalisiert.
(2) Managed	Der Prozess wird mithilfe von Leitlinien, angemessener Ressourcenausstattung und Einbeziehung relevanter Stakeholder geplant, überwacht, gesteuert, überprüft und anhand der Prozessbeschreibung bewertet, sodass auch unter Belastung bestehende Praktiken eingehalten werden. Der Prozess wird daher als geführt bezeichnet
(3) Defined	Prozesse sind geführt und werden im Gegensatz zu Stufe-2-Managed-Prozessen aus organisationsspezifischen Standardprozessen anhand von Tailoring-Guidelines abgeleitet. Sie weisen eine strengere, fortlaufend weiterentwickelte Prozessbeschreibung auf. Darüber hinaus kann aufgrund eines tieferen Prozessverständnis (Tätigkeiten, Kenngrößen, Ergebnisse) dieser stärker proaktiv geführt werden.

Tabelle 29: CMMI V1.3 Fähigkeitsgrade Beschreibung

Quelle: in Anlehnung an (CMMI Product Team 2011, S. 36–37)

Über die Fähigkeitsgrade (sog. *Capability Levels*) wird der Grad der Reife eines Prozessgebiets definiert, also die inkrementellen Prozessverbesserungen in einem gegebenen Prozessgebiet. Hierzu werden vier Grade (*Incomplete, Performed, Managed, Defined*) unterschieden, die in Tabelle 29 beschrieben sind. Ein Unternehmen wählt dabei abhängig von ihrem gewählten Schwerpunkt die sinnvollsten Prozessgebiete für die angestrebte Verbesserung aus. Hierfür sind die Prozessgebiete ergänzend in vier Kategorien eingeteilt: Prozessmanagement, Projektmanagement, Entwicklung und Unterstützung. Die Kategorisierung erleichtert die Bildung einer gemeinsamen Struktur und damit die Kombination der Prozessgebiete (CMMI Product Team 2011, S. 33–44).

Die Reifegrade definieren dagegen, wie schon beim CMM, den Grad der Reife für eine gegebene Menge von Prozessgebieten. Der Fokus der Reifegrade liegt somit nicht auf den einzelnen Prozessen wie bei den Fähigkeitsgraden. Hierzu werden erneut die bekannten fünf Grade des CMM (vgl. Tabelle 28) mit neuer Nummerierung und an die Fähigkeitsgrade angepassten Begriffen (*1. Initial, 2. Managed, 3. Defined, 4. Quantitatively Managed, 5. Optimizing*) und inhaltlichen Ergänzungen unterschieden (CMMI Product Team 2011, S. 33–44).

Die neueste Version des CMMI wurde 2018 als Version 2.0 veröffentlicht, nun nicht mehr direkt vom SEI und dem CMMI Institute, sondern durch den ISACA-Verband, der zuvor das CMMI Institut akquiriert hatte. Dabei lässt sich das CMMI mittlerweile weniger als Reifegradmodell bezeichnen, sondern stellt vielmehr eine umfangreiche Produktfamilie dar. Diese setzt sich aus verschiedenen Komponenten zusammen und kann in unterschiedlichen Anwendungsgebieten und für unterschiedliche Organisationen eingesetzt werden.¹⁶ Hierfür wurden u. a. die Prozessgebiete in Anwendungsgebiete (Practice Areas) umbenannt, um neue Anwendungsgebiete ergänzt und bestehende Gebiete signifikant verändert (Degerli 2020, S. 126).

Auch SPICE bzw. ISO/IEC 15504-5 ist ein internationaler Standard der ISO zur Bewertung von Softwareentwicklungsprozessen. Die Ähnlichkeit mit CMM bzw. CMMI beruht in Teilen auch darauf, dass der Standard aus der Kombination verschiedener Ansätze, u. a. dem CMM, hervorging (Ehsan et al. 2010, S. 860). Dabei ersetzen und erweitern heute mehrere Standards der ISO/IEC 330xx-Standardfamilie die ursprüngliche ISO/IEC 15504 Reihe (ISO/IEC 33001:2015, o. S.).

Untersuchungen vergangener Versionen von SPICE und CMM(I)¹⁷ zeigten bereits, dass sich beide Ansätze aufgrund ihrer zahlreichen Gemeinsamkeiten (z. B. hinsichtlich Reifegrade) kombinieren ließen (Ehsan et al. 2010, S. 859–861). Für die aktuellsten Versionen beider Ansätze steht eine derartige Untersuchung noch aus.

Trotz der Standardisierung ist CMMI jedoch insbesondere in der Software-Praxis weiter verbreitet als SPICE, was u. a. an der früheren freien Verfügbarkeit des CMMI und der Zugänglichkeit zu zugehörigen Trainings-Ressourcen lag (Ehsan et al. 2010, S. 861–862). Da der Ansatz aufgrund seiner Gemeinsamkeiten mit CMM(I) und der im Vergleich geringeren Verbreitung voraussichtlich wenig neue Erkenntnisse für diese Arbeit liefern kann, wird er nicht näher betrachtet.

¹⁶ Die vorangegangenen Informationen des Absatzes sind den verschiedenen Inhalten und Unterseiten der ISACA-CMMI-Website entnommen: <https://cmmiinstitute.com> (letzter Abruf 16.03.2021)

¹⁷ In den weiteren Abschnitten der vorliegenden Arbeit steht CMM(I) stellvertretend für CMM und CMMI und wird genutzt, wenn beide Modelle gemeint sind

4.4 Analyse der systematischen Entwicklung von Reifegradmodellen

Trotz ihrer Beliebtheit und wachsenden Anzahl konstatiert die Forschungsliteratur verschiedene Kritikpunkte an der Reifegradmodellierung bzw. den existierenden Reifegradmodellen:

Auf theoretischer Ebene wird einerseits vor allem die oft fehlende, theoretische Fundierung der Reifegradentwicklung kritisiert (King und Kraemer 1984, S. 470–471; Biberoglu und Haddad 2002, S. 150; Mettler 2010, S. 78; Röglinger et al. 2012, S. 330) und andererseits die fehlende, umfassende (empirische) Evaluation des Modells (de Bruin et al. 2005, o. S.; Mettler 2010, S. 78; Solli-Sæther und Gottschalk 2010, S. 280; Röglinger et al. 2012, S. 330).

Auf eher praktischer Ebene wird z. B. der eindimensionaler Pfad mit vorabdefinierten Endzustand, der keine Konfigurationsmöglichkeiten und damit Innovations- und Evolutionsmöglichkeiten erlaubt, kritisiert (King und Kraemer 1984, S. 472–474; Solli-Sæther und Gottschalk 2010, S. 280; Röglinger et al. 2012, S. 330). Schlechte Modelldokumentationen erschweren wiederum die Umsetzung, während gleichzeitig die Reifegradmodelle unreflektiert als statische Blaupause übernommen werden (Röglinger et al. 2012, S. 330). Die unreflektiert übernommenen Modelle geben den Entscheidungsträger eine falsche Sicherheit in Bezug auf die Problemlösung. Dies ist insbesondere bei entsprechend realitätsfernen Modellen problematisch (Mettler 2010, S. 78).

Dabei spielt auch „*das Fehlen weitläufig akzeptierter Anforderungen sowie eines klaren Entwicklungsprozesses für das Design*“ eine Rolle (Winter und Mettler 2016, S. 170). Gerade der Entwicklungsprozess könnte allerdings helfen, weitere Problemfragen, z. B. nach Möglichkeiten der Messung der Abstände zwischen Reifeebenen bzw. Reifegraden, zu beantworten oder Hilfestellung bei der Wahl der Messskala zu geben (Lasrado et al. 2015, o. S.).

Darüber hinaus ist der Erfolg der Reifegradmodellierung bisher an sich nicht ausreichend bzw. nur geringfügig empirisch validiert. Daher ist nicht eindeutig belegt, inwieweit sich Unternehmen tatsächlich über einen bestimmten Zeitraum hinweg stufenförmig bzw. als lineare Sequenz von Ebenen in Form voraussagbarer Muster weiterentwickeln (King und Kraemer 1984, S. 470–474; Solli-Sæther und Gottschalk 2010, S. 280). Gleichzeitig hinterfragen FRASER ET AL. (2002, S. 248), ob es überhaupt möglich ist, ein Reifegradmodell zu entwickeln, das sowohl rigoros als auch generisch ist.

Um den meisten Kritikpunkten zu begegnen, wurden bereits verschiedene Modelle für den Modellentwicklungsprozess (*Gestaltungsprozess der Reifegradmodellierung*) und Empfehlungen für die Ausgestaltung der Modelle selbst (*Reifegradmodelle als Gestaltungsprodukt*) in der wissenschaftlichen Literatur vorgeschlagen (Röglinger et al. 2012, S. 330–331), die im Folgenden näher betrachtet werden.

4.4.1 Gestaltungsprozess der Reifegradmodellentwicklung

Für die Entwicklung von Reifegradmodellen existiert noch kein allgemein anerkanntes Vorgehen. Zur Unterstützung der Entwicklung von Reifegradmodellen schlagen DE BRUIN ET AL. (2005, o. S.) allerdings ein Rahmenwerk mit sechs Entwicklungsphasen vor, die der Reihe nach durchlaufen werden (Rücksprünge für Anpassungen sind jedoch vorgesehen):

1. *Scope*: Zu Beginn der Entwicklung werden die Rahmenbedingungen für die spätere Modellanwendung geschaffen. Hierfür wird der Fokus des Modells festgelegt und die Modellentwicklung unterstützende Stakeholder identifiziert.
2. *Design*: In der zweiten Phase wird das Design bzw. die Modellarchitektur näher bestimmt, indem die Struktur bzw. Darstellung der Reifegrade definiert wird (z. B. one-dimensional linear stages oder stage-gate). Hierfür werden u. a. auch die Zielgruppe näher charakterisiert und Aspekte der späteren Anwendung (z. B. Methode, Treiber, Auskunftsgibende) festgelegt. Dabei ist zu beachten, dass die richtige Balance zwischen der oft komplexen Realität und der Einfachheit des Modells erzielt wird.
3. *Populate*: Nach dem Design wird der Modellinhalt, also die Gestaltungsobjekte (das Was), ermittelt, indem zuvor Domänenkomponenten und ggf. Domänensubkomponenten (Gestaltungsdimensionen) identifiziert wurden. Ebenso werden die Messinstrumente (Methoden, Fragen, Messzahlen) mit denen die Reifebewertung durch das Modell durchgeführt werden kann (das Wie) passend ausgewählt.
4. *Test*: In vierten Phase soll das entwickelte Modell bzgl. Relevanz und Rigor sowie Validität, Reliabilität und Nützlichkeit evaluiert werden.
5. *Deploy*: In dieser Phase wird das Modell zur operativen Nutzung verfügbar gemacht, um so auch die Generalisierbarkeit verifizieren zu können.
6. *Maintain*: Abschließend werden die Maßnahmen und Ressourcen geplant, die die zukünftige Modellevolution und damit die Weiterverbreitung und Verbesserung ermöglichen und unterstützen (z. B. Repositories, Training Material).

BECKER ET AL. (2009, S. 254–255) schlagen ein ähnlich geartetes Vorgehensmodell vor, das jedoch auf den *Design Science Research Guidelines* von Hevner (vgl. Kapitel 1.4) basiert. Neben den von DE BRUIN ET AL. (2005, o. S.) bereits identifizierten

Phasen schlagen BECKER ET AL. (2009, S. 254–255) auch eine Phase für die Festlegung der Entwicklungsstrategie und eine Abbruchphase im Falle einer negativen Evaluation vor. Darüber hinaus betont das Vorgehensmodell den Vergleich bestehender Reifegradmodelle als Grundlage für die Festlegung der Entwicklungsstrategie, die bei DE BRUIN ET AL. (2005, o. S.) nur kurz Erwähnung im Rahmen des Begleittextes findet.

	Rahmenwerk nach DE BRUIN ET AL. (2005)	Vorgehensmodell nach BECKER ET AL. (2009)
I. Modellplanung	1. <i>Scope</i> : Domänenanalyse, Festlegung des Modellfokus und Identifizierung der Stakeholder	1. <i>Problemdefinition</i> : Problembereich/Bedarf, Teildisziplin und Zielgruppen ermitteln
	N/A	2. <i>Vergleich</i> bestehender Reifegradmodelle 3. <i>Festlegung der Entwicklungsstrategie</i> : z. B. Neuentwicklung, Weiterentwicklung, Modellkombination, Übertragung von Strukturen oder Inhalten
II. Modell-Gestaltung und Validierung	2. <i>Design</i> : Modellarchitektur bestimmen durch Definition von Reifegraden, Zielgruppe und Anwendungsaspekten	4. Iterative Reifegradmodellentwicklung in mehrfacher Wiederholung: (1) Gestaltungsebenen festlegen
	3. <i>Populate</i> : Modellinhalte ermitteln anhand der vorher identifizierten Dimensionen und Auswahl von Messinstrumenten	(2) Vorgehen wählen
	4. <i>Test</i> : auf Relevanz, Rigor, Validität, Reliabilität, Nützlichkeit	(3) Modellbereich gestalten (4) Ergebnis prüfen auf Vollständigkeit, Konsistenz, Problem-Adäquanz
III. Modelleinsatz	siehe Design-Phase	5. <i>Konzeption von Transfer und Evaluation</i> : z. B. Checklisten, Handbücher, Softwarewerkzeuggestützte Bereitstellung, Evaluationsplanung
	5. <i>Deploy</i> : operative Nutzung	6. <i>Implementierung der Transfermittel</i>
IV. Modellevaluierung	6. <i>Maintain</i> : Maßnahmen und Ressourcen für die zukünftige Modellevolution planen	7. <i>Durchführung der Evaluation</i> (regelmäßige Wiederholung notwendig)
	N/A	8. <i>Verwerfen des Reifegradmodells</i> bei negativen Evaluationsergebnissen

Tabelle 30: Vergleich der Vorgehensmodellphasen für die Reifegradmodellierung

Anders als das Rahmenwerk von DE BRUIN ET AL. (2005, o. S.) sieht das Vorgehensmodell von BECKER ET AL. (2009, S. 255) darüber hinaus auch Zwischenevaluationschritte vor, sodass nicht erst das fertige Reifegradmodell auf Vollständigkeit, Konsistenz und Problemadäquanz geprüft wird. Stattdessen findet eine Evaluation zur Identifizierung möglicher Defizite schon frühzeitig während der Entwicklung statt. Allerdings bleiben BECKER ET AL. (2009, S. 255) hier eher vage, wie diese Prüfung im Detail aussehen soll. Darüber hinaus sieht das Vorgehensmodell, wie auch bei DE BRUIN ET AL. (2005, o. S.) verschiedene Rücksprungmöglichkeiten zur (langfristigen) Verbesserung des Reifegradmodells vor.

Die Tabelle 30 bietet einen Vergleich der beiden Ansätze, bei dem die sich korrespondierenden Phasen einander gegenübergestellt sind. Dabei zeigt sich, dass die Reifegradmodellentwicklung nach diesen Ansätzen grundsätzlich in fünf Abschnitte eingeteilt werden kann: *I. Planung, II. Gestaltung und Validierung, III. Einsatz und IV. Evaluierung des Modells*. Die Rücksprungmöglichkeiten, die in beiden Modellen angedacht sind, konnten allerdings in dieser tabellarischen Darstellung nicht mitabgebildet werden. Die beiden Phasen von BECKER ET AL. (2009), die keine direkte Entsprechung bei DE BRUIN ET AL. (2005) finden, wurden wiederum entsprechend mit *N/A* in der Tabelle gekennzeichnet.

Einen etwas anderen Ansatz bieten darüber hinaus SOLLI-SÆTHER UND GOTTSCHALK (2010, S. 283–287), bei dem das zu entwickelnde Reifegradmodell in verschiedene Stadien eingeordnet wird:

1. Im ersten Schritt wird anhand von Ideen vorangegangener Forschung sowie aus der Praxis (z. B. mittels Literaturstudien oder informellen Diskussionen) ein erster Modellentwurf entwickelt (*Suggested Stage Model*).
2. Darauf aufbauend werden in einem iterativen Zyklus die Modell-Ebenen und ihr Inhalt entwickelt, wobei dominante Probleme jeder Ebene identifiziert werden (z. B. mittels Fallstudien) (*Conceptual Stage Model*).
3. Als nächstes werden relevante Theorien auf die Ebenen und ihren Inhalt angewendet und daraus Benchmark-Variablen abgeleitet, die wiederum in Fokusgruppen diskutiert werden sollen (*Theoretical Stage Model*).
4. Im vierten Schritt werden den Benchmark-Variablen entsprechende Werte zugewiesen und mittels Umfragen empirisch getestet (*Empirical Stage Model*).
5. Als letzter Schritt wird das Modell anhand der vorangegangenen Ergebnisse überarbeitet (*Revised Stage Model*).

Alle der vorgestellten Ansätze verfolgen einen *Top-down-Ansatz*. Die Literatur identifiziert allerdings daneben auch einen *Bottom-up-Ansatz*, der sich in zentralen Aspekten vom *Top-down-Ansatz* unterscheidet. Daher muss im Einzelfall abgewogen werden, welches Vorgehen zur Konzeption geeignet ist.

Beim *Top-down-Ansatz* werden als erstes die Reifegrade des Problembereichs definitorisch ausgestaltet. Zur Bestätigung der Reifegrade werden darauf aufbauend die Gestaltungsobjekte und Messpunkte, z. B. mithilfe von Fokusgruppen, Fallstudien oder Literaturanalysen, ermittelt. Der Fokus liegt daher eher auf dem *Was* (Was ist Reife) und weniger auf dem *Wie* (Wie kann diese gemessen werden), wodurch sich der Ansatz für wenig entwickelte Domänen und damit der Entwicklung innovativer Reifegradmodelle eignet. Er ist daher in der Praxis weit verbreitet.

Nachteile sind dabei jedoch die geringe theoretische Fundierung und ggf. ein fehlender Kausalzusammenhang zwischen Reifegrade und Verbesserungsmaßnahmen (de Bruin et al. 2005, o. S.; Lahrmann et al. 2011, S. 179–181; Winter und Mettler 2016, S. 170–171; Raber et al. 2013).

Beim *Bottom-up-Ansatz* werden wiederum zunächst basierend auf analytischen Verfahren Klassen von Unternehmen mit spezifischem Muster identifiziert. Dadurch können zunächst die Anforderungen und Messpunkte ermittelt und definiert werden, aus denen dann die Reifegrade abgeleitet werden können. Dadurch werden die Transparenz und Nachweisbarkeit in Bezug auf die Entwicklungsstufen erhöht. Dafür notwendig ist allerdings ein umfangreiches Vorwissen in Bezug auf quantitative Methoden und darauf basierende Datenerhebungen sowie den Problemlösungsbereich. Der Ansatz eignet sich folglich für fortgeschrittene Domänen bzw. Problemlösungsbereiche, die eine weniger innovative Lösung erfordern. Nachteile des Vorgehens sind dagegen die erhöhte Komplexität aufgrund des benötigten Wissens, die variierende Ausgestaltung aufgrund unterschiedlicher Datensätze und eine mögliche unausgeglichene Struktur aufgrund einer variierenden Anzahl an Elementen je Reifegrad (de Bruin et al. 2005, o. S.; Lahrmann et al. 2011, S. 179–181; Winter und Mettler 2016, S. 170–171; Raber et al. 2013).

Der Entwicklungsstand der Problemdomäne ist damit ein zentrales Entscheidungskriterium, ob sich für das geplante Vorgehen eher ein Top-down- oder Bottom-up-Ansatz eignet. Darüber hinaus hat der Entwicklungsstand auch Einfluss auf die Nützlichkeit des entwickelten Reifegradmodells. So können nach LAHRMANN ET AL. (2011, S. 178) innovative Reifegradmodelle, deren theoretische Fundierung aufgrund der eher wenig entwickelten bzw. neuen Domäne schwächer ist, nützlicher sein als Reifegradmodelle für eine fortgeschrittene Domäne, in der die Notwendigkeit für eine Unterstützung durch ein Reifegradmodell geringer ist.

Zusammengefasst kann festgehalten werden, dass die hier vorgestellten Vorgehensmodelle bzw. -ansätze versuchen, vor allem der Kritik in Bereichen theoretischer Fundierung und Modellevaluation zu begegnen. Sie geben ein strukturiertes Vorgehen vor und schlagen hierfür verschiedene (Forschungs-)Methoden für die unterschiedlichen Phasen und unterschiedlichem Entwicklungsstand der Problemdomäne vor (vgl. Tabelle 31). Es findet allerdings keine ausführliche Methodenbesprechung statt, um z. B. das Potential der Methoden aufzuzeigen und ihre Einsatzmöglichkeiten voneinander abzugrenzen. DE BRUIN ET AL. (2005, o. S.) vergleichen bspw. lediglich anhand vereinzelter, nur kurz beschriebener Vor- und

Nachteile zwei Methoden miteinander und verweisen hinsichtlich der Methoden-eignung allgemein auf die Abhängigkeit zum Modellkontext, vorherige Entscheidungen sowie das gewünschte Modellergebnis.

Methodenüberblick Reifegradmodellierung	
I. Modellplanung	
<ul style="list-style-type: none"> • Ausführliche Literaturanalyse(n) 	
II. Modellgestaltung	
Identifizierung von Domänenkomponenten, Messmethoden und Beurteilungskriterien	<ul style="list-style-type: none"> • Ausführliche Literaturanalyse(n) (insb. nach Erfolgsfaktoren und Barrieren) bei insb. reifen Domänen; bei weniger reifen Domänen stellt die Literaturanalyse lediglich den Anfangspunkt dar und andere Identifizierungsmöglichkeiten sind notwendig • Kreativitätstechniken
Identifizierung von Subkomponenten und Messmethoden:	<ul style="list-style-type: none"> • Explorative Forschungsmethoden: z. B. Delphi-Methode, Case Study Interviews, Fokusgruppen
III. Modelleinsatz	
Assessment	<ul style="list-style-type: none"> • Umfragen, z. B. mit Likert Scales • Entwicklung von Web Interfaces oder Software für das Self-Assessment
IV. Modellevaluierung (und II. Validierung)	
Face Validity	<ul style="list-style-type: none"> • Fokusgruppen, Interviews
Content Validity	<ul style="list-style-type: none"> • Pilot Tests, Case Studies, Brainstorming
Assessment Instrument Validity	<ul style="list-style-type: none"> • Survey, Pilot Tests, Factor Analysis
Nutzen	<ul style="list-style-type: none"> • Case Studies, freie Modellbereitstellung (z. B. mittels Internet)
Andere	<ul style="list-style-type: none"> • Laborexperimente, Feldexperimente, Simulationen, Ethnography, Action Research

Tabelle 31: Methodenüberblick für die Reifegradmodellentwicklung

Quelle: in Anlehnung an DE BRUIN ET AL. (2005, o. S.), VENABLE (2006, o. S.), BECKER ET AL. (2009, S. 255) und METTLER (2010, S. 82–84)

Im Vergleich (siehe Tabelle 31) zeigt sich, dass z. B. für die Modellvalidierung insbesondere explorative Forschungsmethoden vorgeschlagen werden. Dagegen werden z. B. für alle Vorabüberlegungen, wie dem Identifizieren des Bedarfs, der Identifizierung von Reifegradmodellen der Problemdomäne oder für die Zielgruppenermittlung, ‚ausführliche‘ Literaturanalyse empfohlen. Erläuterungen, was unter ‚ausführlich‘ gemeint wird und wie die unterschiedlichen Typen von Literaturanalysen (vgl. Kapitel 2.1) zielführend dabei eingesetzt werden können, fehlen. Dementsprechend unterschiedlich fallen in der Literatur die eingesetzten Forschungsdesigns bzw. Forschungsmethoden für die Reifegradmodellentwicklung aus (Wendler 2012, S. 1324–1325).

Im Kern wird somit basierend auf einer Literaturstudie unterschiedlichen Umfangs und Vorgehens ein Reifegradmodell (vor allem konzeptuell) entwickelt und durch *Fokusgruppen*, *Delphi-Studien* oder *Interviews* evaluiert bzw. mittels *Case Studies* (präferiert in der Literatur) validiert. Eine tatsächliche Evaluation bzw. Validierung findet in der Praxis allerdings eher selten statt, wodurch es bei der reinen Konzeption bleibt (Lasrado et al. 2015, o. S.; Wendler 2012, S. 1326–1327). Zur Unterstützung wird sich oft auf das CMMI-Modell bezogen (z. B. als Vergleichsreferenz, zum Transfer der Struktur/Inhalt auf eine neue Domäne oder als einfache Inspirationsquelle) (Wendler 2012, S. 1328).

Die theoretische Fundierung und Modellevaluation scheint daher durch die bisherigen Ansätze für den Gestaltungsprozess nur bedingt gelöst zu sein. Auch die zuvor skizzierten Herausforderungen in Bezug auf den Praxiseinsatz (z. B. Konfigurationsmöglichkeiten im Modell) werden durch die Vorgehensmodelle bisher nicht adressiert. Zusätzlich fehlen Entscheidungshilfen innerhalb der Entwicklungsphasen der Vorgehensmodelle (z. B. welche Messskala ausgewählt werden soll).

4.4.2 Reifegradmodell als Gestaltungsprodukt

Als Ergänzung zu den Vorgehensmodellen, die den Reifegradmodell-Entwicklungsprozess thematisieren, werden ergänzend in der Literatur Prinzipien und Parameter zur Modell-Ausgestaltung vorgeschlagen. Diese Prinzipien und Parameter betrachten das Modell als Gestaltungsprodukt anstatt als Prozess und adressieren dadurch weitere Fragen bzw. Probleme der Reifegradmodellierung.

Die von RÖGLINGER ET AL. (2012, S. 331–333) bzw. PÖPPELBUß UND RÖGLINGER (2011, o. S.)¹⁸ vorgeschlagenen Gestaltungsprinzipien für die Reifegradmodellierung sollen dabei einerseits direkt die Entwicklung als Checkliste unterstützen und andererseits als Evaluierungshilfe für den Vergleich von Reifegradmodellen dienen. Hierfür unterteilen die Autoren die Prinzipien in drei aufeinander aufbauende Typen (siehe Tabelle 32).

Die *Basis-Gestaltungsprinzipien* stellen allgemeine Informationen und Konstrukte dar, die für alle Reifegradmodelle unabhängig ihres Typs und Ausrichtung im Rahmen des Gestaltungsprozesses bestimmt werden sollten. Hierzu zählen z. B. Informationen über die Anwendungsdomäne oder die Zielgruppe des Modells. Die *Gestaltungsprinzipien für den deskriptiven Modelleinsatz* umfassen dagegen Informationen und Konstrukte, die die Reifebewertung – das Assessment – behandeln

¹⁸ Bei RÖGLINGER ET AL. (2012) handelt es sich um einen Zeitschriftenbeitrag der auf dem Konferenzbeitrag PÖPPELBUß UND RÖGLINGER (2011) basiert und fast identische Inhalte und Autoren aufweist.

wie z. B. Bewertungskriterien für die Reifeebenen. Durch die *Gestaltungsprinzipien für den präskriptiven Modelleinsatz* werden wiederum alle Informationen und Konstrukte zusammengeführt, die die Verbesserungsmaßnahmen zur Erlangung einer höheren Reife fokussieren. Hierzu zählen z. B. Verbesserungsmaßnahmen für jede Reifeebene (Pöppelbuß und Röglinger 2011, o. S.; Röglinger et al. 2012, S. 331–333).

Gestaltungsprinzipien der Reifegradmodellierung	
1. Basis-Gestaltungsprinzipien	
DP 1.1	Bereitstellung grundlegender Informationen : Anwendungsdomäne, Voraussetzungen für die Anwendbarkeit, Einsatzzweck, Zielgruppe, Unterschiede zu ähnlichen Reifegradmodellen, Gestaltungsprozess, Umfang der empirischen Validierung, Klasse der betrachteten Entitäten
DP 1.2	Definition zentraler Konstrukte , die in Beziehung zu Reife und Reifung stehen: Reife und Dimensionen der Reife, Reifeebenen und Reifungspfad, verfügbare Ebenen der Granularität der Reifung, theoretische Fundierungen in Bezug zu Evolution und Veränderungen
DP 1.3	Definition zentraler Konstrukte in Bezug auf die Anwendungsdomäne
DP 1.4	Zielgruppen-orientierte Dokumentation
2. Gestaltungsprinzipien für einen deskriptiven Modelleinsatz	
DP 2.1	Intersubjektiv überprüfbare Kriterien für jede Reife und Granularitätsebene
DP 2.2	Zielgruppen-orientierte Assessment-Methodologie : Vorgehensmodell, Empfehlungen für die Reifebewertung, Adaptions- und Konfigurationskriterien, Expertenwissen vorheriger Anwendungen
3. Gestaltungsprinzipien für einen präskriptiven Modelleinsatz	
DP 3.1	Verbesserungsmaßnahmen für jede Reifeebene (und jede Granularitätsebene)
DP 3.2	Entscheidungskalkül für ausgewählte Verbesserungsmaßnahmen : Erklärung relevanter Ziele, Erklärung relevanter Einflussfaktoren, Unterscheidung zwischen externer Berichterstattung und interner Verbesserungsperspektive
DP 3.3	Zielgruppen-orientierte Methodologie für die Übernahme Vorgehensmodell, Empfehlungen für die Bewertungsvariablen, Empfehlungen für die Konkretisierung und Adaption von Verbesserungsmaßnahmen, Empfehlungen für die Adaption und die Konfiguration des Entscheidungskalkül, Expertenwissen früherer Anwendung

Tabelle 32: Gestaltungsprinzipien der Reifegradmodellierung

Quelle: in Anlehnung an PÖPPELBUß UND RÖGLINGER (2011, o. S.) und RÖGLINGER ET AL. (2012, S. 332)

Der konsekutive Aufbau der Prinzipien spiegelt den Gedanken des Lebenszyklus bzw. Regelkreises beim Einsatz von Reifegradmodellen wieder (vgl. Kapitel 4.3.2). Die Berücksichtigung der unterschiedlichen Modell-Ausprägungen hinsichtlich deskriptiv und präskriptiv stellt dabei ein Novum dar, das sich bisher nicht in Vorgehensmodellen oder Klassifizierungen (vgl. Kapitel 4.3.3 und Kapitel 4.4.1) wiederfinden lässt – trotz der Betonung dieses Unterscheidungsmerkmals hinsichtlich Ziel und Einsatzmöglichkeit in der Basisliteratur (vgl. Kapitel 4.3.2).

Das Konzept begegnet auch einigen der allgemeinen Reifegradmodell-Kritikpunkte (vgl. Einleitung Kapitel 4.4). So wird einerseits eine detaillierte a priori Ausgestaltung des Reife- bzw. Reifungskonzepts unterstützt und andererseits die notwendige Zielgruppen-orientierte Modelldokumentation gefordert. Kritikpunkte in den Bereichen Konfigurationsmöglichkeiten und Evaluation bleiben jedoch unberücksichtigt.

Ferner gibt das Konzept keine Empfehlungen oder Hilfen bzgl. der einzusetzenden Methoden zur Ermittlung der für die Ausgestaltung der Prinzipien notwendigen Informationen. Auch geben die Autoren keine zeitliche oder kausale Reihenfolge bei der Ausgestaltung der Prinzipien vor, sodass die unterstützende Anwendung eines Vorgehensmodells fast notwendig erscheint. Eine entsprechende Zuordnung zu den Phasen eines Vorgehensmodells existiert jedoch nicht, sodass diese den Modellierern überlassen bleibt. Dadurch bieten die Prinzipien aber auch den Vorteil offen in der Nutzung zu sein. Sie können daher z. B. als Vergleichsmöglichkeit für existierende Modelle eingesetzt werden sowie mit verschiedenen Vorgehensmodellen kombiniert werden.

Ein weiterer Ansatz zur Unterstützung der Reifegradmodellierung stellen die von METTLER (2010, S. 79–84) bzw. METTLER (2009, o. S.)¹⁹ entwickelten Gestaltungsentscheidungsparameter dar. Der Fokus liegt hierbei auf den zentralen Entscheidungsparametern der Reifegradmodellentwicklung und deren Ausprägungsmöglichkeiten, die insbesondere zu Beginn der Reifegradmodellentwicklung festgelegt werden müssen (siehe Tabelle 33). Hierfür wurden diese vom Autor in die Gestaltungsaktivitäten der Reifegradmodellentwicklung (z. B. Identifizierung des Bedarfs und der Möglichkeit) unterteilt. Diese sind dabei überschneidend mit den Phasen der vorgestellten Vorgehensmodelle in Kapitel 4.4.1, wodurch ein kombinierter Einsatz unterstützt wird.

Überdies überschneiden sich die Entscheidungsparameter, z. B. hinsichtlich Zielgruppe oder Reifekonzept, mit den Gestaltungsprinzipien von PÖPPELBUß UND RÖGLINGER (2011, o. S.) bzw. RÖGLINGER ET AL. (2012, S. 331–333). Die Entscheidungsparameter von METTLER (2010, S. 79–84) bzw. Mettler (2009, o. S.) bieten aber auch eine Reihe noch nicht adressierter Aspekte, insbesondere für die in der Kritik stehenden Bereiche Evaluation und Evolution (z. B. Evaluierungsmethode, Häufigkeit der Evaluation). Da sie zudem konkrete Ausprägungsmöglichkeiten für die verschiedenen Gestaltungsprinzipien aufzeigen (z. B. verschiedene

¹⁹ Bei METTLER (2010) handelt es sich um einen Zeitschriftenbeitrag der dieselben Inhalte wie METTLER (2009), einem Hochschulbericht, aufweist und damit eindeutig auf diesem basiert, auch wenn der Beitrag nicht im Zeitschriftenbeitrag ausgewiesen wird.

Reifekonzepte) stellen sie eine wertvolle Ergänzung zu den Gestaltungsprinzipien dar.

Der Kritik an fehlenden Modell-Konfigurationsmöglichkeiten können jedoch auch die Entscheidungsparameter nicht begegnen. Ebenfalls bleibt die Unterstützung bei der Kombination passender Parameter-Ausprägungsmöglichkeiten für den jeweiligen Problembereich meist oberflächlich oder ist nicht vorhanden. So wird z. B. darauf hingewiesen, dass die Wahl des geeigneten Gestaltungsprozesses (*Theory-driven, Practitioner-based, Combination*) entscheidend ist und Einfluss auf die Auswahl möglicher Forschungsmethoden und damit die Artefakt-Qualität hat (Mettler 2010, S. 83). Es wird aber nicht beschrieben, wie diese Wahl zu treffen ist und welche Forschungsmethoden für die verschiedenen Ausprägungen geeignet sind.

Sowohl die Gestaltungsprinzipien als auch die Gestaltungs-Entscheidungsparameter können daher der Kritik an der Reifegradmodellierung nicht vollends begegnen. Sie unterstützen dennoch die systematische Reifegradmodellentwicklung in zentralen Bereichen, insbesondere in kombinierter Anwendung, und erlauben so eine gezieltere und fundiertere Reifegradmodellentwicklung.

Design Activity	Decision Parameter	Characteristic			
1. Identify need or new opportunity	Novelty	Emerging	Pacing	Disruptive	Mature
	Innovation	New	Variant	Version	
2. Define scope	Breadth	General issue			
	Depth	Individual/Group	Organization	Inter-organizational	Global/Society
3. Design model	Audience	Management-oriented	Technology-oriented	Both	
	Maturity Concept	Process-focused	Object-focused	People-focused	Combination
	Goal Function	One-dimensional	Multi-dimensional		
	Design Process	Theory-driven	Practitioner-based	Combination	
	Design Product	Textual description of form	Textual description of form and functioning	Instantiation (software)	Combination
	Application Method	Self-assessment	Third-party assisted	Certified professionals	
	Respondents	Management	Staff	Business partners	Combination
4. Evaluate design	Subject of Evaluation	Design process	Design product	Both	
	Point of Time	Ex-ante	Ex-post	Both	
5. Reflect evolution	Evaluation Method	Naturalistic	Artificial	Combination	
	Subject of Change	None	Form	Functioning	Form and functioning
	Frequency	Non-recurring	Continuous		
	Structure of Change	External/open	Internal/exclusive		
	Dissemination	Open	Exclusive		

Tabelle 33: Gestaltungsentscheidungen im Verlauf der Reifegradmodell-Entwicklung

Quelle: in Anlehnung an METTLER (2009, o. S.) und METTLER (2010, S. 82)

4.5 Zusammenfassende Ableitung der Vorgehensweise für diese Arbeit

Die Reifegradmodellierung ist ein Ansatz originär aus dem Qualitätsmanagement, besitzt aber mittlerweile durch entsprechend prominente Vertreter wie dem CMM(I) oder SPICE eine weite Verbreitung in der Softwareentwicklung. Das Qualitätsverständnis obliegt dabei bis heute einer ständigen Veränderung. Bezogen auf moderne, multidimensionale Konstrukte wie digitalisierte Produkte kann somit festgestellt werden, dass zahlreiche Qualitäts-Einflussfaktoren identifizierbar sind, für die etablierte Ansätze nicht vollständig ausreichend sind. Gleichzeitig zeigt sich, dass entsprechende Ansätze und Werkzeuge notwendig sind, um den zahlreichen Herausforderungen digitalisierter Produkte zu begegnen.

Reifegradmodelle stellen hierfür einen möglichen Ansatz dar, um die Praxis und Forschung zu unterstützen. Ziel der Reifegradmodellierung ist für eine Klasse von Objekten (z. B. Prozesse, Produkte oder Personen) einen fortgeschrittenen Zustand (Leistungssteigerung bzw. Gütesteigerung) durch eine Leistungsbewertung zu erreichen. Dafür bieten sie einen meist stufenförmigen Reifepfad mit mehreren Reifegraden für die Betrachtungsobjekte und deren verschiedene Gestaltungsdimensionen.

Die Reifegradmodelle können entsprechend deskriptiv, präskriptiv oder komparativ gestaltet sein, wobei der Idee des Regelkreis folgend alle drei Ausgestaltungsformen konsekutiv und langfristig notwendig sind. Darüber hinaus lassen sich Reifegradmodelle in verschiedene Typen klassifizieren, die sich wiederum für verschiedene Domänen und vorhandene Ressourcen eignen (z. B. rasterbasierte Modelle, hybride Modelle, formal strukturierte Modelle).

Für die Entwicklung von Reifegradmodellen existiert noch kein allgemeingültiges Verfahren und selbst die in diesem Kapitel vorgestellten bekannten Ansätze und Konzepte bieten noch Verbesserungspotential, um der allgemeinen Kritik an der Reifegradmodellierung vollends zu begegnen. Dennoch stellen die vorgestellten Ansätze für die Reifegradmodellierung eine hilfreiche Grundlage für die Entwicklung dar, da sie ein systematisches Vorgehen und ergänzende Prinzipien und Auswahlhilfen für die Gestaltungsentscheidungen bieten. Sie dienen daher auch als Basis für die Modellentwicklung der vorliegenden Arbeit.

Dabei werden sie jedoch ergänzt durch das von ALTUNTAS UND UHL (2015, S. 132–133) angewendete Verfahren der Entwicklung eines Reifegradmodells für die Versicherungswirtschaft. Das Modell wurde ebenfalls im Rahmen einer Dissertationsschrift entwickelt, weshalb sich das dabei angewendete Vorgehen eignet, um es

auf diese Arbeit zu übertragen. Dadurch kann den Restriktionen einer Dissertationsschrift und der dabei bedingten spezifischen schriftlichen Ausarbeitung begegnet werden. Das Vorgehen der Autoren ist dabei aus dem Ansatz von SOLLI-SÆTHER UND GOTTSCHALK (2010, S. 283–287) (siehe Kapitel 4.4.1) abgeleitet.

Die für diese Arbeit abgeleitete Vorgehensweise der Modellentwicklung aus ALTUNTAS UND UHL (2015, S. 132–133) und damit auch aus SOLLI-SÆTHER UND GOTTSCHALK (2010, S. 283–287) ist entsprechend in Abbildung 17 veranschaulicht.

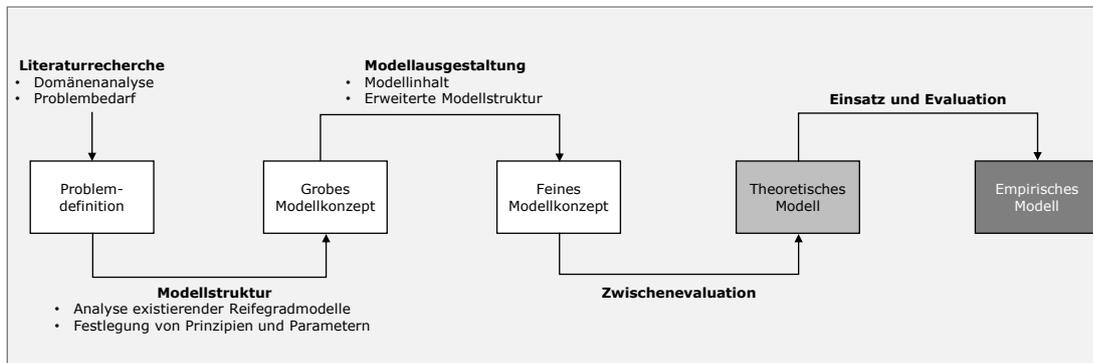


Abbildung 17: Abgeleitete Vorgehensweise der Reifegradmodellentwicklung dieser Arbeit

Quelle: in Anlehnung an SOLLI-SÆTHER UND GOTTSCHALK (2010, S. 283–287) und ALTUNTAS UND UHL (2015, S. 133)

Für die Entwicklung des Reifegradmodells wurde sich aufgrund der eher weniger weit entwickelten Domäne der digitalisierten Produkte, die damit einen innovativen Ansatz bedingt, für einen Top-Down-Ansatz entschieden (vgl. Kapitel 4.4.1): Dies bedeutet, dass zunächst die Reifegrade ausgestaltet werden und erst im Anschluss die zugehörigen Gestaltungsobjekte und Messpunkte ermittelt werden.

Zu Beginn des Entwicklung steht daher die *Problemdefinition*, die sich aus einer Domänenanalyse und einer Beschreibung des Problembedarfs zusammensetzt. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit erfolgte dieser Schritt bereits durch die Domänenanalyse in Kapitel 2 und der Analyse der Herausforderungen digitalisierter Produkte in Kapitel 3.4..

Zur Festlegung eines *groben Modellkonzeptes* werden als nächster Schritt existierende Reifegradmodelle für den Problembereich digitalisierte Produkte identifiziert und verglichen. Darauf aufbauend werden anhand der in Kapitel 4.4.2 beschriebenen Prinzipien und Parameter die zentralen Eigenschaften des Modells festgelegt. Daraus ergibt sich die grobe Modellstruktur bestehend aus Reifegraden und Dimensionen als erstes Teilergebnisartefakt in Kapitel 5.

Im Anschluss folgt die inhaltliche Modellausgestaltung als *Modellfeinkonzept* in Kapitel 6. Hierzu zählen ebenfalls die gegebenenfalls notwendige Ausgestaltung von

Unterkategorien (erweiterte Modellstruktur) und die Bestimmung der Zielvektoren für die Dimension oder Unterkategorien.

Abschließend erfolgt in Kapitel 7 eine argumentativ-deduktive (*Zwischen-*)*Evaluation* des Modells, die hilft theoretische Herausforderungen bereits vorab zu identifizieren bzw. zu antizipieren. Die Zwischenevaluation erlaubt die Teil-Etablierung eines theoretischen Modells, das für den Einsatz in der Praxis und eine darauf aufbauende empirische Evaluation geeignet ist. Für ein vollständiges theoretisches Modell, wie es nach SOLLI-SÆTHER UND GOTTSCHALK (2010, S. 283–287) vorgesehen ist, wäre darüber hinaus eine entsprechende empirische Testung notwendig. Daher ist in der Abbildung 17 das *theoretische Modell* hellgrau eingefärbt.

Die empirische Evaluation, z. B. mittels Umfragen, oder der Praxiseinsatz mit anschließender, ergänzender Evaluation/Reflektion für die Entwicklung eines *empirischen Modells* ist aufgrund der dafür benötigten Ressourcen nicht Bestandteil der vorliegenden Arbeit (nähere Ausführungen hierzu finden sich entsprechend in Kapitel 5.2.6 und Kapitel 7).

5 Grobes Reifegradmodellkonzept für digitalisierte Produkte

In dem vorliegenden Kapitel wird, wie in Kapitel 4.5 erläutert und in Abbildung 17 dargestellt, das grobe Modellkonzept für das Reifegradmodell der vorliegenden Arbeit erarbeitet. Das grobe Modellkonzept umfasst alle Vorüberlegungen und Analysen, die notwendig sind, um zentrale Parameter und die Modellstruktur festlegen zu können. Diese bilden dann wiederum die Grundlage für die Erarbeitung des Modellinhalts und notwendiger Erweiterungen der Modellstruktur als Modellfeinkonzept im Kapitel 6.

Hierfür werden basierend auf einer systematischen Literaturanalyse bestehende Reifegradmodelle für den Problembereich digitalisierte Produkte ermittelt und verglichen (KAPITEL 5.1).

Darauf aufbauend erfolgt die Festlegung der zentralen Entscheidungsparameter und damit die grobe Modellstruktur (Reifegrade, Dimensionen) als erstes Teilergebnisartefakt für das zu konzipierende Modell (KAPITEL 5.2).

Das Kapitel schließt mit einer kurzen Zusammenfassung und Zusammenführung der Inhalte als Modellarchitektur (KAPITEL 5.3).

5.1 Analyse bestehender Reifegradmodelle für digitalisierte Produkte

Als erster Schritt im Rahmen des Vorgehens der Reifegradmodellkonzeption (siehe Kapitel 4.5) gilt es die bereits existierenden Reifegradmodelle für den Problembereich der digitalisierten Produkte zu ermitteln und zu vergleichen. Hierdurch kann der entsprechende notwendige Modellbedarf (Art des Modells, Umfang des Modells, etc.) für die Problemdomäne ermittelt werden und eine Grundlage für die Entwicklung eines neuen Modells oder die Erweiterung eines bestehenden Modells geschaffen werden.

Für die Identifizierung der Reifegradmodelle eignet sich die Methode der systematischen Literaturanalyse (nähere Ausführungen zur Methode in Kapitel 2.1), da eine eng gefasste Forschungsfrage definiert werden kann, die sich widerspruchsfrei zusammenfassend beantworten lässt: *Welche Reifegradmodellkonzepte für die Domäne digitalisierter Produkte wurden bereits veröffentlicht?*

Die Durchführung der Literaturanalyse orientiert sich dabei an dem von KITCHENHAM UND CHARTERS (2007) definierten Prozess, der in Tabelle 34 skizziert ist. Der Prozess ist dabei nicht sequentiell zu verstehen, wie die Tabelle gegebenenfalls

suggeriert. Stattdessen müssen unter Umständen viele Phasen und Aktivitäten mehrmals iteriert werden, um die Qualität der Literaturanalyse sicherzustellen.

Prozess einer systematischen Literaturanalyse	
1. Planung des Reviews	<ul style="list-style-type: none"> • Identifizierung des Bedarfs für eines Reviews • Auftragserteilung für ein Review* • Spezifizierung der Forschungsfrage(n) • Entwicklung und Evaluierung* eines Review-Protokolls
2. Durchführen des Reviews	<ul style="list-style-type: none"> • Identifizierung von Forschungsarbeiten • Auswahl von Primärstudien • Beurteilung der Qualität der Studien • Extraktion, Kontrolle und Synthese der Daten
3. Veröffentlichung des Reviews	<ul style="list-style-type: none"> • Spezifizierung der Verbreitungsmechanismen • Erstellung des Hauptgutachtens • Evaluierung* des Gutachtens
Legende: *optional	

Tabelle 34: Phasen und Aktivitäten eines Systematic Literature Reviews

Quelle: in Anlehnung an KITCHENHAM UND CHARTERS (2007, S. 6)

In der ersten Phase, *Planung des Reviews*, wird dementsprechend der Bedarf für die Literaturanalyse identifiziert und mittels einer vorabdefinierten Forschungsfrage ein Protokoll erstellt. Durch das Protokoll werden die zur Analyse eingesetzten Methoden und verschiedene Parameter (*Suchstrategie, Suchbegriffe, Literaturquellen, Auswahlkriterien, Auswahlprozess, Qualitätsbewertung, Extraktionsstrategie, Synthesestrategie, Verbreitungsstrategie, Zeitplan*) festlegt (Kitchenham und Charters 2007, S. 7–13).

Der Bedarf wurde bereits in den vorangegangenen Kapiteln, z. B. durch die Analyse und den Vergleich der Domänen digitalisierter Produkte (Kapitel 2) und die Analyse der Herausforderungen digitalisierter Produkte (Kapitel 3.4), identifiziert. Die Forschungsfrage wiederum wurde bereits eingangs festgelegt. Das festzulegende Protokoll der Literaturanalyse wird dagegen durch die Inhalte des nächsten nachfolgenden Kapitels 5.1.1 wiedergegeben.

Die zweite Phase des Prozesses der systematischen Literaturanalyse stellt die *Durchführung der Analyse* dar. Dabei lässt sich die Phase in die Bereiche Literatursuche, Literatursuche, Literatursuche, Inhaltsanalyse und Synthese unterteilen (Kitchenham und Charters 2007, S. 14–39). Im Anschluss an das Protokoll im nächsten Abschnitt finden sich daher Informationen zur durchgeführten Suche, Entscheidungen in Bezug auf die Literatursuche und die Analyse des finalen Ergebnissatzes (Kapitel 5.1.2).

Die dritte Phase im Prozess wiederum stellt die *Veröffentlichung der Ergebnisse* dar (Kitchenham und Charters 2007, S. 39–43), die durch die Ergebnisdarstellung in den nachfolgenden Kapiteln der vorliegenden Arbeit (Kapitel 5.1.3 - 5.1.8) erfüllt wird.

5.1.1 Protokoll der systematischen Literatursuche

Die folgenden Erläuterungen geben das zu Beginn der Recherche festzulegende Protokoll der systematischen Literaturanalyse in Anlehnung an KITCHENHAM UND CHARTERS (2007) wieder. Abbildung 18 visualisiert entsprechend die durch das Protokoll beschriebene Literatursuche.

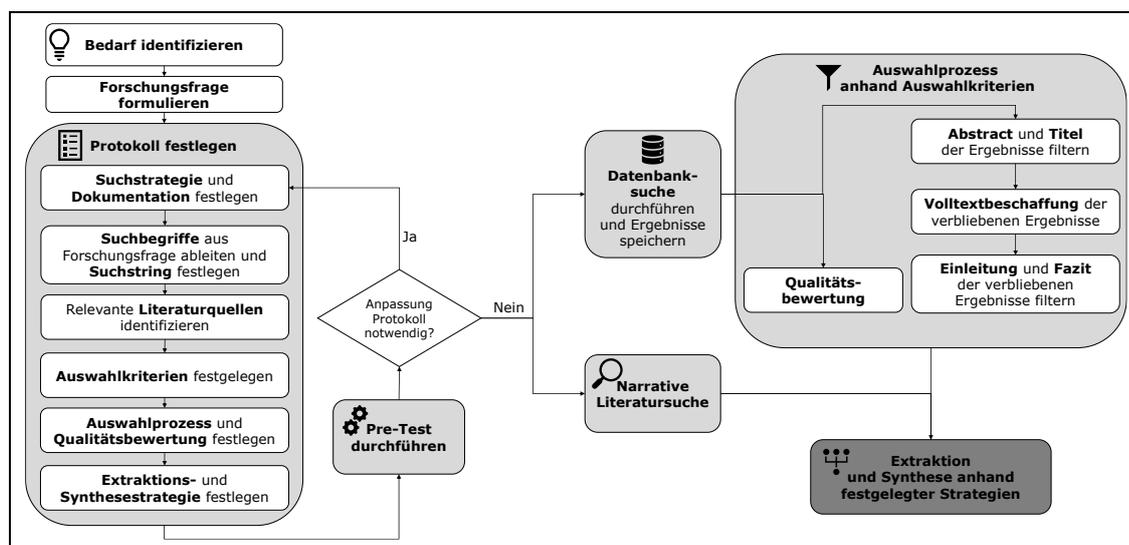


Abbildung 18: Prozess der systematischen Literatursuche

Quelle: eigene Darstellung in Anlehnung an KITCHENHAM UND CHARTERS (2007)

Suchstrategie und Dokumentation der Suche

Wie von KITCHENHAM UND CHARTERS (2007, S. 14–16) vorgeschlagen, werden zunächst basierend auf den zuvor festgelegten Literaturquellen (z. B. Fachdatenbanken) verschiedene Pre-Tests mit dem vorabdefinierten Suchstring durchgeführt und, falls notwendig, Anpassungen vorgenommen.

KITCHENHAM UND CHARTERS (2007, S. 14–16) weisen dabei auf einen etwaigen Publikations-Bias (höhere Wahrscheinlichkeit der Veröffentlichung rein positiver Ergebnisse) hin. Im Falle der vorliegenden Arbeit wäre dies die fehlende Veröffentlichung von gescheiterten oder unvollständigen Reifegradmodell-Projekten. Diese könnten allerdings wertvolle Hinweise auf mögliche, gemachte Fehler bei der Reifegradmodellentwicklung geben und die in der vorliegenden Arbeit zu vermeiden wären. Zur Verringerung des Bias schlagen die Autoren das Scannen von grauer Literatur, Konferenzbeiträgen, die Kontaktierung von Experten aus dem Bereich und die Ergänzung um statistische Analysetechniken vor. Im Rahmen

der vorliegenden Arbeit werden daher, wie im Folgenden noch weitergehend erläutert, einerseits Konferenzbeiträge in die Suche inkludiert und andererseits im Anschluss an die systematische Literatursuche eine narrative Literatursuche zur Absicherung der Ergebnisse durchgeführt.

Zur Dokumentation der finalen Suche nach den Pre-Tests werden ein Tabellenkalkulationsprogramm zur Dokumentation der erzielten Ergebnisse und eine Literaturverwaltungssoftware zur Verwaltung der gefundenen Ergebnisse eingesetzt.

Literaturquellen und Auswahlkriterien

Aufgrund der Unreife der Domäne digitalisierter Produkte ist zu erwarten, dass Reifegradmodelle vor allem im wissenschaftlichen Bereich in Form von konzeptuellen Ansätzen aufzufinden sind und weniger in der Praxisliteratur. Anhand einer Keyword-Suche wird daher in Datenbanken mit Fokus auf wissenschaftlichen Publikationen nach entsprechenden Repräsentationen gesucht. Dabei werden in den Ergebnissen nur englisch und deutschsprachige Zeitschriftenartikel und Konferenzbeiträge berücksichtigt.

Als Datenbanken wurden hierfür die für die Wirtschaftsinformatik folgenden relevanten Fachdatenbanken ausgewählt:

- *ACM Digital Library* (<https://dl.acm.org>),
- *AIS Electronic Library* (<https://aisel.aisnet.org>),
- *EBSCOhost* (<https://search.ebscohost.com/Login.aspx>),
- *Emerald* (<https://www.emerald.com>),
- *IEEE Xplore* (<https://ieeexplore.ieee.org/Xplore/home.jsp>) und
- *Science Direct* (<https://www.sciencedirect.com>).

Diese decken ein breites Spektrum an wissenschaftlicher Konferenz- und Zeitschriftenbeiträge aus den Bereichen Informatik, Wirtschaftsinformatik und Wirtschaftswissenschaften ab.

Suchbegriffe, Suchstring und Pretests

Da die der systematische Literaturanalyse zugrunde liegende Forschungsfrage auf den Zielvektoren (1) *Reifegradmodellkonzepte* und (2) *Domäne digitalisierte Produkte* basiert, setzen sich die Suchbegriffe (engl. *Keywords*) des Suchstrings aus den bekanntesten englischen und deutschen Begriffen bzw. Synonymen und Homonymen hierfür zusammen. Diese wurden bereits in den entsprechenden vorangegangenen Kapiteln bei der Besprechung der jeweiligen Konzepte mitangegeben. Im Folgenden daher eine exemplarische Auswahl:

- Reifegradmodelle: z. B. *Assessment Model*, *Kompetenzmodell* oder *Capability Model* (vollständige Liste in Kapitel 4.3);
- Digitalisierte Produkte: z. B. *smart*, *intelligent* oder *digitized* (vollständige Liste in Kapitel 3.2.3);
- Forschungsdomänen: z. B. *ubiquitous*, *pervasive* oder *ambient* (vollständige Liste in Kapitel 2)

Die Begriffe der Anwendungsdomänen (z. B. *Agriculture*, *Education* oder *Transport*) brachte in den Pretests keine Veränderung der Ergebnisse mit sich und wurden daher nicht in den finalen Suchstring übernommen. Ein Erklärungsansatz für die unveränderten Ergebnisse könnte sein, dass in der Literatur Anwendungsdomänen meist einer oder mehreren Forschungsdomänen zugeordnet werden. Eine Suche über die Forschungsdomänen würde die Anwendungsdomänen-Ergebnisse dann ebenfalls inkludieren (vgl. hierzu auch Kapitel 2.3.5).

Der finale Suchstring entsprach daher in etwa dem folgenden Aufbau und wurde abhängig von den Möglichkeiten der jeweiligen Datenbanken (z. B. Anzahl Operatoren, Zusatzangaben für den Ort der Suche, Klammerarten) minimal jeweils angepasst:

```
("Reifegradmodell" OR "Kompetenzmodell" OR "maturity model" OR
"assessment model" OR "capability model" OR "maturity grid") AND
("smart" OR "intelligent" OR "cyber-physical" OR "digitized" OR
"ubiquitous" OR "pervasive" OR "ambient" OR "internet of things")
```

Dabei wurden die beiden grundsätzlichen Zielvektoren – Reifegradmodellkonzepte und digitalisierter Produkte – durch den Operator AND miteinander verknüpft. Dies ist notwendig, da beide Zielvektoren in den Ergebnissen enthalten sein müssen, damit das Ergebnis als valide für die Untersuchung betrachtet werden kann. Innerhalb der Zielvektoren wurden die ausgewählten Begriffe durch den Operator OR miteinander verknüpft, da es sich hierbei um alternative Begriffe für denselben Zielvektor handelt und daher die Ergebnisse mindestens einen dieser Begriffe aufweisen müssen.

Die Datenbanken stellen dabei in der Regel verschiedene Optionen für den Ort der Suche zur Verfügung, z. B. im Volltext, Abstract oder in den Keywords. Die Pretests zeigten dabei, dass abhängig von der jeweiligen Datenbank die Suche in den Keywords oder den Abstracts die besten Ergebnisse lieferten.

Bei den Tests zeigte sich auch, dass der Suchbegriff *digitized* in der amerikanischen Schreibweise vereinzelt Ergebnisse liefern konnte, während die britische Schreibweise *digitised* keine Ergebnisse lieferte. Dies deutet auf eine präferierte Verwendung des Begriffs im anglo-amerikanischen Sprachraum im Gegensatz zum eher britisch-geprägten Sprachraum hin.

Der Suchbegriff *Assessment Model* wiederum lieferte rein mathematische Bewertungsmodelle und keine Reifegradmodelle dem dieser Arbeit entsprechenden Verständnis (siehe Kapitel 4). Daher wurde der Suchbegriff z. B. im Rahmen der Suche bei *Science Direct* entfernt, da *Science Direct* pro Suche eine Einschränkung hinsichtlich der Anzahl an zu nutzenden Operatoren pro Suchstring aufweist und eine Kürzung des ursprünglichen Suchstrings notwendig machte. Alternativ hätten ansonsten multiple Suchen mit Teilstrings durchgeführt werden müssen, die wiederum voraussichtlich zahlreiche Duplikate und damit einen erhöhten Aufwand erzeugt hätten.

Ebenso wurden bei der *Science-Direct-Suche* die deutschen Äquivalente zu *Maturity Model*, *Reifegradmodell* und *Kompetenzmodell* entfernt, da nach vorherigen Tests keine Ergebnisse mit den beiden Begriffen in der Datenbank erzielt werden konnten.

Auswahlprozess, Qualitätsbewertung und Extraktionsstrategie

Der Auswahlprozess zur Ermittlung des finalen Ergebnisdatensatzes für die Inhaltsanalyse und Synthese gliedert sich in Anlehnung an KITCHENHAM UND CHARTERS (2007, S. 18–34) in die folgenden Schritte:

1. *Titel- und Abstract-Analyse*: Basierend auf den festgelegten Auswahlkriterien werden der Titel und Abstract der erhaltenen Ergebnisse geprüft. Im Anschluss werden von den übrig gebliebenen Ergebnissen der Volltext beschafft.
2. *Einleitung- und Fazit-Analyse*: Die Einleitung und das Fazit der nach Schritt eins übriggebliebenen Ergebnisse werden anhand der festgelegten Auswahlkriterien geprüft. Aus dieser Prüfung ergibt sich der finale Satz an Ergebnissen für die Detailanalyse.
3. *Narrative Literaturanalyse*: Eine narrative Literaturanalyse wird ergänzend durchgeführt, um weitere zentrale Ergebnisse auffinden zu können. Hierbei werden parallel die Auswahlkriterien angewendet.

Die Qualitätsbewertung findet ebenfalls parallel statt und orientiert sich an allgemeinen Anforderungen wissenschaftlicher Arbeiten. Ebenso findet parallel die Identifizierung und Entfernung von Duplikaten statt.

Zur Unterstützung des Auswahlprozesses in Bezug auf Einleitung und Fazit und die spätere inhaltliche Analyse und Synthese wird ein Tabellenkalkulationsprogramm eingesetzt, um zentrale Aspekte der Publikationen und darin enthaltenen Reifegradmodelle sicherzustellen. Zur Unterstützung des Auswahlprozesses werden dabei folgende Publikationsattribute festgehalten: *Datenbank*, *Quelle*, *Jahr*, *Fokus*

der Publikation (z. B. Modellvorschlag, Modelleinsatz), Forschungsdomäne(n), Anwendungsdomäne(n), Betrachtungsgegenstand des Reifegradmodells (z. B. Interoperabilität), Anmerkungen, Exkludiert.

Zur Extraktion der Modellattribute bieten METTLER ET AL. (2010, S. 336), FRICK (2012, S. 190) und PÖPPELBUß UND RÖGLINGER (2011, o. S.) zahlreiche Vorschläge wie z. B. *Name, Akronym, Reifekonzept, Designprozess*. Nachdem zunächst ein umfangreicher Satz an festzuhaltenden Modellattributen ausgewählt wurde, zeigten erste Tests, dass viele Publikationen nicht ausreichend Informationen zu den entsprechenden Attributen bereitstellen. Daraufhin wurde ein kürzerer Satz entwickelt, der neben den Publikationsattributen die folgenden Modellattribute beinhaltet: *Modell(name), Akronym, basiert auf Modell/Framework* (z. B. CMMI), *Inhalte des Modellvorschlags* (z. B. Anzahl Reifeebenen, Validierung enthalten), *weitere Erkenntnisse*.

Synthesestrategie

Die Synthese der Ergebnisse beinhaltet die Zusammenführung und Zusammenfassung der Ergebnisse. Dies kann in Abhängigkeit der zugrundeliegenden Ergebnisdaten auf verschiedene Weise erfolgen (Kitchenham und Charters 2007, S. 34–39):

- *deskriptiv (narrativ)* für extrahierte Informationen über Studien (z. B. Beispielgröße, Ergebnisse, Kontext),
- *quantitativ* für quantitative Ergebnisse,
- *qualitativ* für qualitative bzw. natürlichsprachliche Ergebnisse,
- *kombiniert* für Ergebnisse mit qualitativen und quantitativen Studien.

Da davon auszugehen ist, dass die publizierten Reifegradmodelle eher natürlichsprachlich präsentiert werden (und dies entsprechend in den Pre-Tests bestätigt wurde), erfolgt dementsprechend eine qualitative Synthese der Ergebnisse. Ergänzend werden die quantitativen bibliometrischen Daten der jeweiligen Publikationen zusammengeführt und präsentiert.

5.1.2 Gesamtüberblick über die Ergebnisse der Suche

Die Literatursuche wurde am 15.02.2021 (ACM Digital Library, AISEL), 16.02.2021 (IEEE Xplore, Emerald, Ebscohost Business Source Premier) und 17.02.2021 (Science Direct) durchgeführt. Insgesamt konnten dabei 111 Publikationen identifiziert werden. Die meisten Publikationen (33) entstammen dabei der Datenbank Science Direct.

Nach Titel und Abstract-Analyse bezogen auf die Auswahlkriterien

- *Sprache* (nur deutsche oder englische Publikationen),
- *Beitragsart* (nur Konferenzbeitrag oder Zeitschriftenartikel) und
- *Inhalt* (keine technologiespezifischen Modelle)

blieben 49 Publikationen übrig, wovon fünf nicht im direkten Zugriff für die Volltextbeschaffung waren und nicht im für die Analyse zur Verfügung stehenden Zeitrahmen anderweitig beschafft werden konnten. Sie werden daher im Folgenden nicht weiter berücksichtigt. Darüber hinaus konnte ein Duplikat entfernt werden.

Von den übrigen 43 Publikationen blieben nach der inhaltlichen Prüfung von Einleitung und Fazit noch 34 Publikationen als Ergebnissatz für die Extraktion und Synthese übrig.

Eine Übersicht über den finalen Satz (sowie die nicht zu beschaffenden Quellen) findet sich in Anhang A.

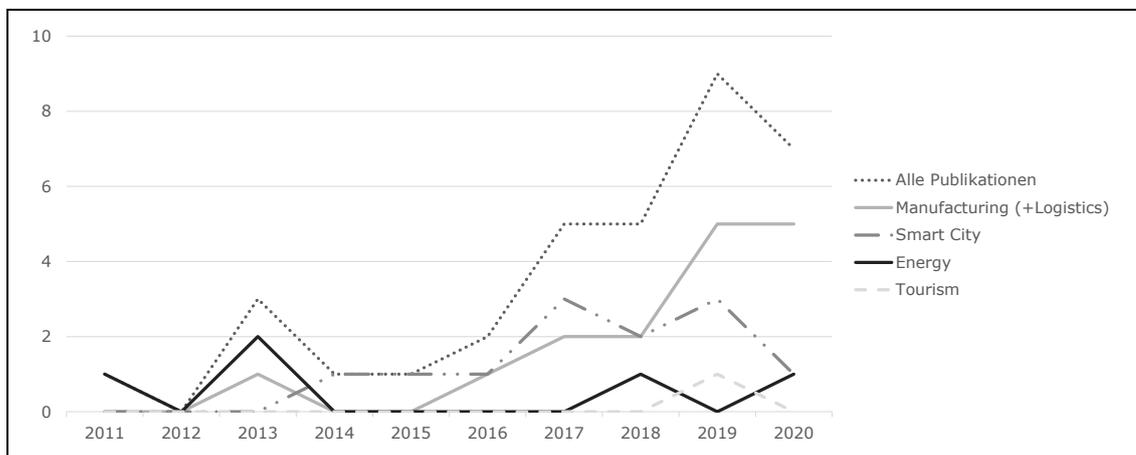


Abbildung 19: Publikationen der Reifegradmodellierung für digitalisierte Produkte nach Jahren

Quelle: eigene Darstellung

Bezogen auf die bibliometrischen Eigenschaften (siehe Abbildung 19), lässt sich feststellen, dass die früheste Publikation 2011 veröffentlicht wurde. Die meisten Publikationen (9) wurden dagegen 2019 veröffentlicht. Zu berücksichtigen hierbei ist, dass die Anzahl der Publikationen für 2020 ggf. noch nicht vollständig ist, da die Suche Anfang 2021 durchgeführt wurde und damit ggf. noch nicht alle Publikationen von 2020 in den Datenbanken eingetragen waren.

Die Publikationen, die nicht im Zugriff waren und daher ausgeschlossen wurden, wurden in den folgenden Jahren veröffentlicht: 2016 (1), 2017 (2), 2018 (1), 2021 (1). Sie sind nicht in der Abbildung enthalten, da ihr Inhalt nicht geprüft werden konnte.

Insgesamt lässt sich ein steigendes Interesse bezogen auf die Reifegradmodellierung für digitalisierte Produkte analog zur steigenden Popularität der Thematik erkennen.

Trotz der expliziten Suche nach Forschungsdomänen konnte keine Publikation gefunden werden, die nur auf dieser Abstraktionsebene ein Modell erarbeitet hat. Stattdessen ordnete jede Forschungsdomänen-Publikation ihr Reifegradmodell einer Anwendungsdomäne zu. Für einige Forschungsdomänen konnten gar keine Publikation identifiziert werden, wie z. B. *Ubiquitous Computing*, *Pervasive Computing* oder *Ambient Intelligence*. Es zeigt sich also eine Anwendungsdomänenorientierung bei den Reifegradmodellen digitalisierter Produkte.

Die Analysen von Abstract, Einleitung und Fazit zeigten, dass sich der überwiegende Teil der gefundenen Publikationen entweder der Anwendungsdomäne *Manufacturing* (16) oder der Anwendungsdomäne *Smart City* (12) zuordnen lässt. Daneben existieren noch weitere Publikationen in den Anwendungsdomänen *Energy/Smart Grid* (5) und *Tourism* (1). Keine Publikationen konnten daher bspw. in den Anwendungsdomänen *Agriculture*, *Health* oder *Smart Home* gefunden werden.

Die Hälfte der Publikationen (15) konzentriert sich darüber hinaus auf einen spezifischen Unterbereich der jeweiligen Domäne wie z. B. *Datenqualität* (Korachi und Bounabat 2018), *Interoperabilität* (Knight et al. 2013) oder *Smart Government* (Juniawan et al. 2017). In diesen Fällen wird daher die Anwendungsdomäne nicht alles Ganzes erfasst.

Sieben Publikationen bieten zudem kein eigenes Reifegradmodell, sondern geben durch (systematische) Literaturanalysen Überblick über die Reifegradmodelle für die Anwendungsdomänen *Manufacturing* (4), *Smart City* (2) und *Energy* (1). Dies zeigt, dass das Potential der Reifegradmodellierung in diesen Bereichen erkannt und zahlreiche Modellvorschläge mittlerweile erarbeitet wurden. Es kann auch auf eine Reifung der Domänen im Gegensatz zu den anderen Anwendungsdomänen hindeuten.

Da in diesen Fällen demnach schon eine Konsolidierung und Analyse durch (systematische) Literaturanalysen stattgefunden hat, wurde für die betroffenen Domänen nur noch die jeweiligen Literaturanalysen berücksichtigt und deren Ergebnisse zusammengeführt. Alle weiteren Publikationen mit Modellvorschlägen o. ä. wurden von der weiteren Analyse somit ausgeschlossen. Der Fokus der Analyse in diesem Schritt in der Modellentwicklung dient dazu, ein Verständnis für die Modelle der Domäne zu erhalten. Es geht daher weniger darum, alle Modelle

im Detail zu analysieren. Für die Domäne Energy, die ebenfalls eine Review-Publikation aufweist, wurden allerdings die übrigen Publikationen weiter berücksichtigt, da die Publikation von SUN ET AL. (2011) u. a. aufgrund ihres älteren Publikationsdatums alleine nicht aussagekräftig genug für die Domäne ist.

Durch ergänzende, narrative Literaturrecherchen konnte außerhalb der systematischen Literaturanalyse die Publikation von PÉREZ HERNÁNDEZ UND REIFF-MARGANIEC (2014) identifiziert werden. Anders als die in der systematischen Literaturanalyse identifizierten Publikationen nimmt diese Publikation eine ausschließliche Forschungsdomänenperspektive (IoT) ein.

Tabelle 35 gibt einen Überblick über den finalen Satz bestehend aus 13 zu analysierende Publikationen.

Publikation		Ergebnis der Publikation
Anwendungsdomänen		
Manu- facturing	FELCH ET AL. (2019)	Review & Questionnaire: - 10 wissenschaftliche Studien - 10 generische Beratungsmodelle
	BERTOLINI ET AL. (2019)	Review von 9 Modellen
	ZAPATA ET AL. (2020)	Review von 7 Modellen
	ANGREANI ET AL. (2020)	Systematic Review von 17 Modellen
Smart City	TORRINHA UND MACHADO (2017)	Review von 3 Modellen
	MOHSIN ET AL. (2019)	Review von 6 Modellen
Tourism	LIM ET AL. (2019)	Modellvorschlag
Energy	SUN ET AL. (2011)	Review von 6 Modellen
	KNIGHT ET AL. (2013)	Modellvorschlag
	RAJAGOPAL UND PRASAD (2013)	Frameworkvorschlag & Roadmap
	YUMAK ET AL. (2018)	Modellvorschlag & Roadmap
	FLORE UND MARX GÓMEZ (2020)	Modellvorschlag & Roadmap
Forschungsdomänen		
IoT	PÉREZ HERNÁNDEZ UND REIFF-MARGANIEC (2014)	Modellvorschlag

Tabelle 35: Betrachtete Publikationen zur Reifegradmodellierung für verschiedene Anwendungsdomänen digitalisierter Produkte

5.1.3 Reifegradmodelle der Anwendungsdomäne Manufacturing

Im Bereich Manufacturing konnten vier Publikationen identifiziert werden, die durch eine (systematische) Literaturanalyse verschiedene Reifegradmodelle der Anwendungsdomäne analysiert haben. Obwohl sich die Analysen überschneiden,

haben sie gleichzeitig auch jeweils einen spezifischen Analysefokus und kommen dadurch zu unterschiedlichen, sich aber durchaus ergänzenden Erkenntnissen.

- Die systematische Literaturanalyse von ANGREANI ET AL. (2020) betrachtet Reifegradmodelle aus dem wissenschaftlichen Bereich im Detail und vergleicht sie miteinander (z. B. Dimensionen, Parameter).
- Die Literaturanalyse von BERTOLINI ET AL. (2019) betrachtet dagegen Trends, Themen und Kerncharakteristiken wissenschaftlicher Reifegradmodelle – ohne eine Detailanalyse durchzuführen.
- Der Fokus der Literaturanalyse von FELCH ET AL. (2019) liegt in der Identifizierung wissenschaftlicher Reifegradmodelle und Reifegradmodelle von Beratungsunternehmen stellvertretend für Modelle der Praxis sowie einer anschließenden Web-basierten Umfrage zur Klärung der Modellverbreitung in der Praxis.
- Die Literaturanalyse von ZAPATA ET AL. (2020) nutzt u. a. die von PÖPPELBUß UND RÖGLINGER (2011) definierten Gestaltungsprinzipien (vgl. Kapitel 4.3.4) zum Vergleich verschiedener Modelle.

Die aus den vier Analysen erstandenen Ergebnisse lassen sich in drei Themenbereiche zusammenführen: *Modellverbreitung*, *Modellentwicklung* und *Modelleigenschaften*.

Modellverbreitung: Die Analyse von FELCH ET AL. (2019, S. 5170) ergab einerseits, dass ein Bedarf der Praxis für (Industrie-4.0-)Reifegradmodelle existiert und andererseits deren Verbreitung und Bekanntheitsgrad in der Praxis eher gering ist. Gleichwohl bieten sowohl die Wissenschaft spezifische Modellangebote als auch Beratungsunternehmen generische Modelle, die nicht im Speziellen fürs Manufacturing entwickelt worden sind, an. Dennoch setzen Unternehmen, die sich derartige Modelle bedienen, eher auf unternehmensspezifische, eigenständig entwickelte Modelle (Felch et al. 2019, S. 5168–5170).

Die meisten wissenschaftlichen Modellvorschläge stammen von europäischen Autoren, insbesondere mit deutsch-sprachigem Hintergrund, die ihre Publikationen im Rahmen der Industrie 4.0-Initiative verordnen (Angreani et al. 2020, S. 340). Das Ziel dieser Modelle liegt meistens in der Definition eines Reifegradmodells für die Digitalisierung des Geschäfts und die Entwicklung von Produkten und Services (Bertolini et al. 2019, S. 1858).

Überdies bieten sowohl die generischen Modelle der Beratungsunternehmen als auch einige der Manufacturing-Modelle der Wissenschaft das Potential in verschiedenen weiteren Anwendungsdomänen (z. B. Logistics, Energy) eingesetzt werden zu können (Angreani et al. 2020, S. 342).

Modellentwicklung: Die Entwicklung der Modelle erfolgt in den meisten Fällen durch die Kombination verschiedener Methoden (z. B. Literaturanalysen, konzeptionelle Modellierung, Fallstudien) analog zur allgemeinen Reifegradmodellentwicklung (vgl. Kapitel 4.3.4) (Angreani et al. 2020, S. 341). Demnach wird in der Regel vorhandenes Wissen kategorisiert und zusammengeführt, wodurch Innovation und die Generierung neuen Wissens weniger im Fokus sind. Ebenso stehen vor allem Fragen in Bezug auf Reifemessung (*Wie*) und Messobjekte (*Was*) im Vordergrund der Diskussion, wodurch andere Aspekte (z. B. wie Benchmarks festgelegt werden) weniger Berücksichtigung finden (Bertolini et al. 2019, S. 1861–1862).

Die dadurch entstandenen Modelle sind meist deskriptiv. ZAPATA ET AL. (2020, S. 73) schätzen daher die Weiterentwicklung der Modelle hin zu präskriptiven Modellen als kritisch ein. Hierfür notwendig sind allerdings auch die Entwicklung entsprechender Verbesserungs- und Unterstützungstools sowie Auswahlhilfen.

Aus Nutzersicht sind vor allem operative Eigenschaften der Modelle zentral für die Wahl und die Nutzung eines Modells. Die wichtigsten Anforderungen sind hierbei (Felch et al. 2019, S. 5170–5171):

- die Anpassbarkeit des Modells an die spezifischen Gegebenheiten des Unternehmens,
- die Prozessorientierung,
- die Möglichkeit des schnellen Einsatzes,
- die Einfachheit der Einführung und
- die Bereitstellung eines strukturierten Verbesserungsplans

Die Validierung, Evaluierung oder die Bereitstellung von Fallstudien sind dagegen aus Nutzersicht weniger von Bedeutung (Felch et al. 2019, S. 5170–5171).

FELCH ET AL. (2019, S. 5172) betonen dabei, dass Entwickler von Manufacturing-Reifegradmodellen die Vorteile für potentielle Nutzer zukünftig mehr betonen müssen. Er verweist mit Hinblick auf die Gestaltungsprinzipien von PÖPPELBUß UND RÖGLINGER (2011) (vgl. Kapitel 4.3.4) auf die Notwendigkeit der Entwicklung von nutzerzentrierten Gestaltungsprinzipien zur Inkludierung der Nutzerperspektive in der Reifegradmodellentwicklung.

Modelleigenschaften: Die meisten Manufacturing-Reifegradmodelle sind in die für Reifegradmodelle typischen Dimensionen aufgeteilt. Die zugehörigen Objekte jeder Dimension stellen wiederum die Ansatzpunkte für die Reife-Messung dar. Hierfür besitzen die Modelle im Durchschnitt fünf Reifeebenen. Die Bewertung basiert meist auf einer statischen, linearen Kombination der Dimensionselemente

und der gemessenen Objekte. Die Darstellung der Ergebnisse ist jedoch sehr unterschiedlich (Bertolini et al. 2019, S. 1860–1861).

Bei den Dimensionen lassen sich neun Typen unterscheiden: *Strategy, Leadership, Customers, Products, Operations, People, Governance* und *Technology*. Die Dimensionen *Technology* und *Operations* erfahren dabei die meiste Aufmerksamkeit der Forschung und können daher als dominierende Dimensionen verstanden werden. Einflussreiche und oft genutzte Parameter für diese beiden Dimensionen sind beispielsweise (Angreani et al. 2020, S. 340–342):

- die Dezentralisierung von Prozessen und Entscheidungen,
- die Nutzung und das Teilen von Daten,
- die Etablierung von autonomen Prozessen für die Operations-Dimension,
- die Verfügbarkeit moderner Technologie,
- Cloud-Nutzung sowie
- die Implementierung von Data Governance für die Technology-Dimension.

Die größte Abdeckung der Dimensionen wird durch die Reifegradmodell-Vorschläge von AKDIL ET AL. (2018) und SCHUMACHER ET AL. (2016) erzielt (Angreani et al. 2020, S. 340–342).

In den meisten Modellen weisen die Dimensionen einen technologischen Fokus auf. Daher weisen ZAPATA ET AL. (2020, S. 73) darauf hin, dass es für zukünftige Modelle entscheidend ist, alle von der Transformation des Unternehmens betroffenen Dimensionen zu inkludieren (nicht nur der Technologiebereich). Darüber hinaus empfehlen die Autoren den Geltungsbereich der Modelle zu erweitern und das Ziel der operativen Exzellenz durch die Erweiterung des Produkt-Portfolios mit digitalisierten Produkten zu ergänzen. Reifegradmodelle aus dem Bereich Manufacturing fokussieren meist nur auf die Transformation des operativen Bereichs eines Unternehmens. Ihre duale Rolle nicht nur als Nutzer, sondern auch als Produzent digitalisierter Produkte wird in den Modellen eher vernachlässigt.

Abschließend kritisieren BERTOLINI ET AL. (2019, S. 1862), dass das Assessment (z. B. Surveys, Questionnaires) im Rahmen der Reifegradmodell-anwendung meist rein auf der Einschätzung durch die Nutzer basiert. Dadurch sind sie abhängig von deren Wahrnehmung und Akzeptanz statt einer objektiven Messung von Technologie und Wissen.

5.1.4 Reifegradmodelle der Anwendungsdomäne Smart City

Für die Anwendungsdomäne Smart City konnten zwei Publikationen identifiziert werden, die durch eine Literaturanalyse verschiedene Reifegradmodelle der Anwendungsdomäne miteinander vergleichen. Zu diesem Zweck greifen beide Publikationen auf die von PÖPPELBUß UND RÖGLINGER (2011) vorgeschlagenen Gestaltungskriterien (vgl. Kapitel 4.3.4) als Vergleichsgrundlage zurück.

Die Analyse von TORRINHA UND MACHADO (2017, S. 253) betrachtet allerdings nur drei Modelle, da ihr Fokus auf Reifegradmodellen liegt, die einen ganzheitlichen Ansatz für die Smart-City-Entwicklung bieten. Hierfür wurden sowohl wissenschaftliche wie auch nicht-wissenschaftliche Datenbanken durchsucht. Die Analyse von MOHSIN ET AL. (2019, o. S.) baut auf der Arbeit von TORRINHA UND MACHADO (2017) auf und ergänzt diese um drei weitere Modelle.

Die Ergebnisse der Analysen lassen sich aufgrund des gemeinsamen Vorgehens in die folgenden vier Bereiche einteilen: Allgemeine Ergebnisse, Basis-Gestaltungsprinzipien, deskriptive Gestaltungsprinzipien und präskriptive Gestaltungsprinzipien.

Allgemeine Ergebnisse: Reifegradmodelle für den Anwendungsbereich Smart City sollen den aktuellen Stand einer Stadt erfassen und Entscheidungsträgern eine Unterstützung bei der Evolution der Städte sein (Torrinha und Machado 2017, S. 253). Die Modelle sind hierfür in 5-10 Dimensionen aufgeteilt (z. B. Smart Government, Smart Building, Water Supply, Smart Infrastructure) und bieten dem CMM ähnliche 4-5 Reifeebenen (z. B. Managed, Optimized) (Mohsin et al. 2019, o. S.).

Das Modell mit der umfangreichsten Prinzipien-Abdeckung ist das *Maturity Model to Measure and Compare Inequality in Brazilian Cities* (Br-SCMM) von AFONSO ET AL. (2015) (Torrinha und Machado 2017, S. 256; Mohsin et al. 2019, o. S.). Weitere umfangreiche Ansätze sind darüber hinaus die vorgeschlagenen Modelle von CLARKE (2013), SUPANGKAT ET AL. (2018) und THE SCOTTISH GOVERNMENT ET AL. (2014) (Mohsin et al. 2019, o. S.).

Basis-Gestaltungsprinzipien: Im Bereich der Basis-Gestaltungsprinzipien decken die Modelle die meisten Prinzipien ab. Allerdings weisen die Modelle dennoch in den Bereichen Modellevaluierung, Reifepfaddefinition, Dokumentation und Abgrenzung zu anderen Reifegradmodellen zahlreiche Lücken auf (Torrinha und Machado 2017, S. 254–255; Mohsin et al. 2019, o. S.).

Deskriptive Gestaltungsprinzipien: Der Bereich der deskriptiven Gestaltungsprinzipien ist durch die Modelle weit weniger abgedeckt als im Bereich der Basis-Gestaltungsprinzipien. Kaum bis gar nicht durch die Modelle abgedeckt sind dabei die folgenden Bereiche (Torrinha und Machado 2017, S. 255; Mohsin et al. 2019, o. S.):

- die Konfigurationsmöglichkeiten der Reifegradmodelle an verschiedene Situationen,
- die Verifizierung der Gültigkeit,
- die Ergebnisgenauigkeit und
- die Zielunterstützung des Modells (z. B. durch vorherige Anwendung).

Präskriptive Gestaltungsprinzipien: Noch weniger als der Bereich der deskriptiven Gestaltungsprinzipien ist der Bereich der präskriptiven Gestaltungsprinzipien abgedeckt. Hier bietet nur ein Modell, das *IDC Smart City Maturity Model*, überhaupt Leitlinien zur Verbesserung des IST-Zustands an. Jedoch fehlen dem Modell Details bei den Verbesserungsmöglichkeiten, die eine eindeutige Progression ermöglichen (Torrinha und Machado 2017, S. 255; Mohsin et al. 2019, o. S.).

5.1.5 Reifegradmodelle der Anwendungsdomäne Tourism

Für die Anwendungsdomäne *Tourism* konnte nur eine Publikation identifiziert werden: LIM ET AL. (2019) stellen ein auf Design-Science-Ansätzen entwickeltes und validiertes Reifegradmodell für die Domäne vor.

Das Modell besteht aus fünf Reifeebenen (*Ad Hoc, Basic, Intermediate, Advanced, Optimizing*) und sechs Capabilities (*Governing Smart Tourism, Managing Data and Tourism Resources, Managing Infrastructure and Services, Fostering Public Tourism Awareness, Facilitating Co-creation, Realizing Tourism Values*), die gemeinsam das Modell als Matrix aufspannen.

Obwohl das Modell von den Autoren in die übergeordnete Anwendungsdomäne Smart City eingeordnet wird, scheinen Reifegradmodelle aus dem Smart-City-Bereich bei der Entwicklung des Modells nicht berücksichtigt worden zu sein. Stattdessen wurde als Grundlage ein Modell aus dem IT-Bereich gewählt – das *IT Capability Maturity Framework*.

Während im Rahmen der Publikation die Basisinformationen und die zugehörige Validierung weitgehend dargereicht wurden, fehlen Informationen bzgl. des Einsatzes (z. B. wie ein Assessment mit dem Modell durchgeführt wird), der Anpassung an verschiedene Situationen oder Details zu Verbesserungsmaßnahmen, um eine höhere Reife zu erlangen. Dies kann allerdings der Begrenzung durch das Publikationsformat Konferenzbeitrag geschuldet sein.

5.1.6 Reifegradmodelle der Anwendungsdomäne Energy

Für die Anwendungsdomäne *Energy* konnten fünf Publikationen identifiziert werden, die sich auf unterschiedliche Weise (Literaturanalyse, Modellvorschläge, Roadmaps) mit der Thematik auseinandersetzen. Analog zum inhärenten Verständnis der Energy-Domäne (vgl. Kapitel 2.3.1) sind die Publikationen jedoch immer auf die Entwicklung bzw. Verbesserung von Smart Grids fokussiert.

Die im Zeitablauf früheste Publikation der Energy-Domäne von SUN ET AL. (2011) befasst sich mit verschiedenen Assessment-Modellen. Als Stellvertreter für Reifegradmodelle stellen die Autoren das *IBM Smart Grid Maturity Model* vor, jedoch ohne Tiefenanalyse oder Bewertung.

Die zeitlich nachfolgende Publikation von KNIGHT ET AL. (2013) wiederum stellt ein Reifegradmodell mit Fokus auf (interorganisationaler) Interoperabilität vor, das auf verschiedenen anderen Modell-Ansätzen – hier insbesondere auf dem CMMI und dem *Smart Grid Maturity Model* (SGMM) – aufbaut, sich aber aufgrund des sehr spezifischen Fokus von diesen abgrenzt.

Auch die Publikationen von RAJAGOPAL UND PRASAD (2013) und YUMAK ET AL. (2018) basieren u. a. auf dem SGMM und passen dieses an ihre jeweiligen Anwendungsfälle an. Beide Publikationen fokussieren sich dabei inhaltlich mehr auf die Idee einer Roadmap-Definition statt auf die Entwicklung und Vorstellung eines Reifegradmodells. Ähnlich verhält sich dies bei der Publikation von FLORE UND MARX GÓMEZ (2020).

Das SGMM, das die Grundlage vieler Energy-Reifegradmodelle bildet, wurde vom Software Engineering Institute (SEI) der Carnegie Mellon University entwickelt, das bereits für die Entwicklung des CMMI bekannt ist (SGMM Team 2011, S. 3). Obwohl es das umfangreichste Modell in der Energy-Domäne darstellt, ist der Fokus des SGMM auf die Strategie und Roadmap-Definition der Smart-Grid-Implementierung gelegt (Rajagopal und Prasad 2013, S. 3). Es unterscheidet sich daher vom CMMI, dessen Fokus die organisationale Prozessverbesserung ist. Vielmehr geht es beim SGMM um die Umsetzung einer Implementierungs-Vision. Daher beziehen sich bspw. die Reifebenen des SGMM auf die Reife der Implementierung des Smart Grids (SGMM Team 2011, S. 7).

5.1.7 Reifegradmodelle der Forschungsdomäne IoT

Im Rahmen einer ergänzenden, narrativen Literaturrecherche konnte außerhalb der systematischen Literaturanalyse der Forschungsartikel von PÉREZ HERNÁNDEZ UND REIFF-MARGANIEC (2014) identifiziert werden. Anders als die Artikel der syste-

matischen Literaturanalyse nimmt der Artikel keine Anwendungsdomänen-, sondern eine Forschungsdomänenperspektive ein und analysiert *Capabilities* von *Smart Objects* im Rahmen der Forschungsdomäne IoT.

Capability Levels	Capabilities	Dependencies
1. Essential Fokus liegt auf einem digitalen (statischen) Abbild des Objekts. Inkludiert daher die meisten RFID- oder NFC-getaggten Objekte.	Digital identification Communication Retention Energy-harvesting	- - - -
2. Networked Die Objekte weisen grundlegende Processing und Programmability Capabilities auf und haben meistens ein einziges, festgelegtes Ziel. Sie können sich direkt oder indirekt (Gateway) mit dem Internet verbinden.	Networking Processing Programming	Processing Energy-harvesting Processing
3. Enhanced Die Objekte können eine, einige oder alle Capabilities der Ebene aufweisen. Es wird jedoch noch kein umfangreicher Schutz der Sicherheit und Privatsphäre ermöglicht (nur Basic Shielding)	Logging Sensing & Actuating Shielding Rule-Adaption	Processing Processing, Programmability Processing, Programmability Programmability
4. Aware Weiterentwicklung der Level 3 Capabilities durch Ergänzung zahlreicher Sensoren und Aktuatoren sowie vollständiges Monitoring der Objekt-Komponenten. Erneut können Capabilities individuell weiterentwickelt werden.	Self-awareness Environment-awareness Human-awareness Goal-orientation	Logging, Sensing & Actuating Sensing & Actuating Shielding, Processing, Programmability Programmability
5. IoT Complete Smarte Objekte dieser Stufe weisen Management-Fähigkeiten auf und sind fähig durch soziale Erfahrungen und durch die Umgebung zu lernen. Sie nutzen hierfür Ansätze der künstlichen Intelligenz.	Social-readiness Self-management	Environment-Awareness, Goal-Orientatation, Self-awareness Self-Awareness, Goal-Orientatation

Tabelle 36: Smart Object Capability Levels

Quelle: in Anlehnung an PÉREZ HERNÁNDEZ UND REIFF-MARGANIEC (2014, S. 314–315)

Die in Kern-Capabilities und optionale Capabilities aufgeteilten Capabilities werden dem Prinzip des CMM folgend von den Autoren in fünf aufeinander aufbauende Capability Levels (*Essential*, *Networked*, *Enhanced*, *Aware*, *IoT Complete*) eingeteilt, die einen Reifepfad bilden (siehe Tabelle 36). Demnach entwickeln sich smarte Objekte, die auf der untersten Stufe *Essential* nur die Kern-Capabilities (*Digital Identification*, *Communication*, *Retention*, *Energy-harvesting*) aufweisen, durch das Ergänzen von neuen, teils optionalen Capabilities (z. B. *Networking*,

Logging, Human-awareness) weiter, bis sie die finale Stufe *IoT Complete* erreichen. Dabei existieren verschiedene Abhängigkeiten zwischen den Capabilities, insbesondere sind viele Capabilities der höheren Reifestufen von den Level-2-Capabilities, Processing und Programmability abhängig.

Das von den Autoren vorgeschlagene Modell ist aus Reifegradmodellierungsperspektive jedoch noch unvollständig, da nur die Reifegrade und die Capabilities mit ihren Abhängigkeiten untereinander vorgestellt werden. Der Reifepfad ist unvollständig bzw. vage ausformuliert und nicht in der zugehörigen grafischen Darstellung enthalten. So wird lediglich beispielhaft darauf hingewiesen, dass eine gewisse Flexibilität bei der Ausgestaltung des Reifepfades möglich ist und ggf. nicht jedes smarte Objekt aufgrund von notwendigen, erheblichen Modifikationen problemlos höhere Reifeebenen erreichen kann.

Präskriptive Elemente sind daher ebenfalls nicht enthalten. Die Validierung des Modells erfolgte über kurze Beispiele für jedes Level, die eine Einordnung in die entsprechende Ebene aufzeigen sollen. Daher liegt der Fokus des Modells eher im deskriptiven Bereich sowie der Funktionalität digitalisierter Produkte.

Der erweiterte Ökosystem-Ansatz durch Produktsysteme oder System-of-Systems ist nur rudimentär in Teilen der Capabilities zu finden (z. B. beinhaltet Social-Readiness die Fähigkeit Object Social Networks beizutreten).

Auch handelt es sich hierbei mehr um eine Technologie- bzw. Entwicklerperspektive und nicht z. B. um eine Managementperspektive.

5.1.8 Zusammenfassung und domänenübergreifender Vergleich der Ergebnisse

Die Analyse von Reifegradmodellen für digitalisierte Produkte zeigt, dass bisher vor allem für die Anwendungsdomänen *Manufacturing* und *Smart City* Reifegradmodelllösungen bzw. -ansätze entwickelt worden sind. Andere Anwendungsdomänen wie z. B. *Smart Home* sind dagegen von der wissenschaftlichen Literatur noch weitestgehend nicht erfasst worden.

Auf übergeordneter Forschungsdomänenperspektive konnte lediglich ein Ansatz für die Forschungsdomäne IoT ermittelt werden. Dieser ordnet den Fähigkeiten (*Capabilities*) digitalisierter Produkte fünf Reifeebenen zu und bietet dadurch ein deskriptives Reifegradmodell auf Basis des CMM an (Pérez Hernández und Reiff-Marganec 2014). Für andere Forschungsdomänen wie z. B. *Ambient Intelligence* konnten keine Reifegradmodelle ermittelt werden.

Ebenso wenig konnte ein domänenunabhängiger Ansatz identifiziert werden. Der angesprochene Reifegradmodellansatz von PÉREZ HERNÁNDEZ UND REIFF-MARGANIEC

(2014) für Capabilities digitalisierter Produkte kommt daher der Idee eines domänenunabhängigen Ansatzes noch am nächsten, da er auf Forschungsdomänenebene (IoT) ansetzt und digitalisierte Produkte selbst als Problembereich definiert. Jedoch eignet er sich aufgrund seiner Technologieperspektive und dem Fokus auf Capabilities von digitalisierten Produkten nur bedingt für eine Modell-Weiterentwicklung, um den mannigfaltigen Herausforderungen digitalisierter Produkte begegnen zu können. So bleiben strategische Managementaspekte wie z. B. Geschäftsmodelle oder die Ausgestaltung eines Ökosystems unberücksichtigt. Daher reicht das Modell, z. B. als alleinige Grundlage, für die (Weiter-)Entwicklung eines Reifegradmodells für digitalisierte Produkte nicht aus.

Hier bieten jedoch die anderen Anwendungsdomänen-Modelle ergänzende Konzepte und Ansätze. Die Anwendungsdomänen-Modelle sind dabei selbst ebenfalls meist rein deskriptive Modelle, die darüber hinaus eher selten evaluiert wurden. Überdies könnten die Modelle davon profitieren ihre Nutzerperspektive auszubauen, um dadurch den tatsächlichen Praxiseinsatz zu erhöhen.

Während sich für die Domäne Energy mit dem SGMM ein scheinbarer de-facto Standard durchsetzen konnte, ist dies bei den anderen Anwendungsdomänen noch nicht der Fall. Für die Domänen Smart City und Manufacturing konnten aber durch die entsprechenden Literaturanalysen einige weit entwickelte bzw. vielversprechende Ansätze identifiziert werden. Für die Domäne Tourism konnte dagegen nur ein Modell ermittelt werden.

Abhängigkeiten zwischen den Modellen konnte nur in einem Fall identifiziert werden: Neben weiteren Modellen nutzen AKDIL ET AL. (2018) als Grundlage für ihr *Industry 4.0 Manufacturing Model* das Modell von SCHUMACHER ET AL. (2016). Das entstandene Ergebnis unterscheidet sich jedoch in vielen Aspekten von SCHUMACHER ET AL. (2016). So weist das Modell von AKDIL ET AL. (2018) beispielsweise nur 3 statt 9 Dimensionen auf.

Aus der Analyse der Reifegradmodelle ergeben sich daher insgesamt acht Modelle der Anwendungsdomänen, die entweder für ihre jeweilige Domäne der einzig zu ermittelnde Ansatz darstellen oder als am weitesteten entwickelt bzw. als vielversprechender Ansatz für die jeweilige Domäne gelten. Die Tabelle 37 bietet einen Überblick über den dadurch entstandenen Satz an Anwendungsdomänen-Modellen und deren Dimensionen und Reifeebenen.

Modell (Quelle)	Dimensionen/Capabilities	Reifeebenen/-grade
Energy		
SGMM (SGMM Team 2011, S. 7–11)	<i>8 Dimensionen:</i> Strategy, Management, and Regulatory; Organization and Structure; Grid Operations; Work and Asset Management; Technology; Customer; Value Chain Integration; Societal and Environmental	<i>6 Ebenen:</i> Default, Initiating, Enabling, Integrating, Optimizing, Pioneering
Manufacturing		
Industry 4.0 Maturity Model (Schumacher et al. 2016, S. 163–164)	<i>9 Dimensionen:</i> Strategy, Leadership, Customers, Products, Operations, Culture, People, Governance, Technology	<i>5 Ebenen:</i> von Level 1 (vollständiges Fehlen von Konzepten) bis Level 5 state-of-the-art (keine genaueren Angaben vorhanden)
Industry 4.0 Maturity Model (Akdil et al. 2018, S. 68–70)	<i>3 Dimensionen:</i> Smart Products and Services; Smart Business Processes; Strategy and Organization	<i>4 Ebenen:</i> Absence, Existence, Survival, Maturity
Smart City		
IDC Government Insights' Smart City Maturity Model (Clarke 2013, S. 5–8)	<i>5 Dimensionen:</i> (Non-technology): Strategy, Culture, Process (Technology): Technology, Data	<i>5 Ebenen:</i> Ad hoc, Opportunistic, Repeatable, Managed, Optimized
Brazilian Smart City Maturity Model (Br-SCMM) (Afonso et al. 2015, S. 231–235)	<i>9 Dimensionen:</i> Water, Education, Energy, Governance, Housing, Environment, Health, Security, Technology, Transport	<i>5 Ebenen:</i> Simplified, Managed, Applied, Measured, Turned
Smart Cities Maturity Model (The Scottish Government et al. 2014, S. 9–12)	<i>5 Dimensionen:</i> Strategic Intent, Data, Technology, Governance & Service Delivery Models, Stakeholder Engagement	<i>5 Ebenen:</i> Ad-Hoc, Opportunistic, Purposeful & Repeatable, Operationalised, Optimised
Garuda Smart City Framework (GSCF) (Supangkat et al. 2018, S. 170–172)	<i>3 Dimensionen:</i> Smart Economy, Smart Society, Smart Environment	<i>5 Ebenen:</i> Ad-Hoc, Initial, Scattered, Integrated, Smart
Tourism		
Smart Tourism Capability Maturity Model (Lim et al. 2019, o. S.)	<i>6 Capabilities:</i> Governing Smart Tourism; Managing Data and Tourism Resources; Managing Infrastructure and Services; Fostering Public Tourism Awareness; Facilitating Co-creation; Realizing Tourism Values	<i>5 Ebenen:</i> Ad Hoc, Basic, Intermediate, Advanced, Optimizing

Tabelle 37: Exemplarischer Dimensionen und Reifeebenen-Vergleich von Reifegradmodellen der Anwendungsdomänen digitalisierter Produkte

Anhand der Terminologie der Reifeebenen ist ersichtlich, dass sich bei der Modellentwicklung der Anwendungsdomänen-Modelle häufig am CMM(I)-Konzept (vgl. Ausführungen zum CMM(I)-Konzept in Kapitel 4.3.4) als Grundlage für die Ausge-

staltung orientiert wird, selbst wenn einige Publikationen dies nicht explizit ausweisen. Das SGMM differenziert sich als einzige Ausnahme explizit von der Reifeausgestaltung in Anlehnung an den CMMI-Ansatz, obwohl es wie das CMMI auch am SEI entwickelt worden ist. Anders als das CMMI besitzt das SGMM keinen Prozessfokus, stattdessen sollen die Ebenen Ausdruck der Smart-Grid-Implementierungsreife darstellen (SGMM Team 2011, S. 7).

Dimensionen	Beispiele der inhaltlichen Ausgestaltung
Strategie, Finanzierung, Geschäftsmodelle und Leadership	Entwurf einer Roadmap/Vision/Strategie, Entwurf von Investment-/Finanzierungs-Plänen, Entwicklung eines Business Plans, (Neu)Gestaltung von Geschäftsmodellen sowie Gestaltung und Einsatz von Management-Kompetenzen und Methoden
Governance, Standards, Unternehmensmodell, Regeln und Rechte	Berücksichtigung von Standards und (gesetzlichen) Vorgaben, Schutz intellektuellen Eigentums, Stakeholder-Beteiligung, Anpassung von Organisationsmodellen, Entwurf eines Governance-Modells
Unternehmensprozesse	Gestaltung der (operativen) Unternehmensprozesse (z. B. Dezentralisierung, Automatisierung, Integration, End-to-end-Prozesse), Bereichskooperationen, systematische Verbesserungszyklen, Messsysteme und Nutzung der Daten für intelligente Prozess-Analysen, Stakeholder-Beteiligung (z. B. Co-Development)
Produkt	Produktindividualisierung und -digitalisierung; Kommunikation, Integration und Tracking der Produkte, Produktverbesserungen durch Datensammlung und -analysen, Planung und Evaluation von Plattform-/Cloud-Lösungen
Technologie-Support	Gestaltung der IT-Architektur und notwendigen Infrastruktur für die Nutzung (z. B. Echtzeit-Netzwerke), Nutzung von Industrie-/offenen Standards, Datenkommunikation
Daten	Sammlung, Analyse und Integration von Kunden-/Produkt-/Unternehmens-Daten, Berücksichtigung von (gesetzlichen) Vorgaben auch in Bezug auf Sicherheit und Privatsphäre, Data-Sharing, Echtzeit Response/on-demand Zugriff/Remote Control
Kollaboration	Unterstützen von Co-Creation, Open Innovation, unternehmensübergreifende Kollaboration/Kooperationen, Digital Literacy (oder Alternativen), aktives/passives inklusives Engagement über verschiedene Kanäle mit verschiedenen Stakeholdern
Mitarbeiter	Entwicklung von Mitarbeiterkompetenzen, Mitarbeiterautonomie, Mobile-Workforce-Strategie

Tabelle 38: Zusammengeführte Dimensionen der ausgewählten Anwendungsdomänen-Reifegradmodelle und Beispiele für deren inhaltliche Ausgestaltung

Die Anwendungsdomänen-Modelle weisen je nach Modell drei bis neun Dimensionen auf. Diese überschneiden sich inhaltlich-thematisch trotz der unterschiedlichen Anzahl, dem unterschiedlichen Abstraktionsgrad und der unterschiedlichen Domäne. Dadurch wird eine Zusammenführung der Modelle zu einem übergreifenden Ansatz ermöglicht und erleichtert. In Tabelle 38 sind daher die identifizierten übergreifenden Themen zusammengeführt und Beispiele für ihre inhaltliche Ausgestaltung gegeben.

Die identifizierten Themen sind dabei nicht trennscharf, sondern weisen Abhängigkeiten und Überschneidungen auf (z. B. in Bezug auf Datensammlung, Datenanalysen oder Stakeholder-/Partner-Kollaborationen). In den Modellen selbst sind diese Bereiche ebenfalls nicht trennscharf ausgearbeitet. Die Abhängigkeiten und Überschneidungen werden jedoch in den Modellen in der Regel vernachlässigt und finden daher keine explizite Betrachtung bzw. Berücksichtigung.

Obwohl in einigen Modellen die *Kunden* als eigene Dimension enthalten sind, wurde in der Tabelle kein eigener Bereich/Dimension ausgewiesen. Die Modelle fokussieren bei ihrer Kunden-Dimension entweder auf die Kundendaten oder die Kunden-Kollaboration, welche wiederum in den Bereichen *Daten* und *Kollaboration* bereits berücksichtigt wurden. Einzige Ausnahme bildet hierbei das SGMM. Das Modell bietet auch Kunden-bezogene Aspekte, die sich allerdings nicht in den anderen Reifegradmodellen wiederfinden lassen (SGMM Team 2011, S. 41–46):

- die Entwicklung neuer *Customer-Relationship-Modelle*,
- die Gestaltung der *Kundenerfahrung* und *Kundenzufriedenheit* sowie
- die *Customer Education*.

Darüber hinaus weist das SGMM zwei weitere Themenbereiche auf, die ebenfalls keine Entsprechung in den anderen Modellen gefunden haben (SGMM Team 2011, S. 47–56):

- die *Value Chain Integration* (z. B. Entwicklung einer Ressourcen-Portfolio-Strategie, Prozessintegration oder Portfolio-Optimization-Modelle) und
- *Societal- und Environmental-Aspekte* (z. B. Organizational Environmental Compliance, umweltfreundliches Energienetzwerk, Environmental Footprint Control).

Die Dimensionen der Modelle Br-SCMM und GSCF haben wiederum einen anderen Fokus und lassen sich daher größtenteils nicht den identifizierten Themenbereichen der anderen Modelle zuordnen: Die Dimension *Security* des Br-SCMM bezieht sich z. B. auf die Sicherheit der Bevölkerung und wird anhand der Anzahl an Mordfällen gemessen. Sie bezieht sich damit nicht auf die Sicherheit der genutzten IT-Systeme des Smart-City-Konzepts wie dies bei den anderen Modellen der Fall ist (Afonso et al. 2015, S. 233).

Die Zuordnung der Modelle zu den identifizierten Dimensionen in Tabelle 39 zeigt darüber hinaus weitere interessante Aspekte: die Reifegradmodelle der Anwendungsdomäne Smart City fokussieren im Vergleich am wenigsten auf Themen mit Bezug auf Produkte, Prozesse und Mitarbeiter. Ein Erklärungsansatz hierfür wäre eine fehlende Unternehmensperspektive der Domäne. Gleichzeitig bedeutet dies

jedoch nicht, dass die Produkt-, Prozess- und Mitarbeiterthemen nicht auch für eine Smart-City-Entwicklung relevant sein können (wie z. B. Stakeholder-Beteiligung, Produktverbesserungen anhand der gesammelten Daten oder Entwicklung von Mitarbeiterkompetenzen). Dies zeigt sich auch daran, dass die betroffenen Smart-City-Modelle diese Dimensionen thematisch zwar nicht ausbilden, aber in ihren anderen Dimensionen durchaus ähnliche Themen zu finden sind. So empfehlen THE SCOTTISH GOVERNMENT ET AL. (2014, S. 33–35) in ihrem Smart-City-Reifegradmodell die Entwicklung von Daten- und Projekt-Skills und -Expertise auf Smart-City-Anbieterseite. Sie verordnen diese Aspekte jedoch in andere Dimensionen (*Strategic Intent, Data*) und bilden daher keine eigene Dimensionen Mitarbeiter/Kunden/Personen etc. aus wie die anderen Modelle.

Modell und Quelle	Dimensionen								
	Strategie & Leadership	Governance	Prozesse	Produkt	Technologie-Support	Daten	Kollaboration	Mitarbeiter	Andere
Industry 4.0 Maturity Model (Schumacher et al. 2016, S. 164)	X	X	X	X	X	X	X	X	-
Industry 4.0 Maturity Model (Akdil et al. 2018, S. 71–74)	X	-	X	X	X	X	X	X	-
Smart Tourism Capability Maturity Model (Lim et al. 2019, o. S.)	X	X	X	-	X	X	X	-	-
IDC Government Insights' Smart City Maturity Model (Clarke 2013, S. 8)	X	X	-	-	X	X	X	-	-
Brazilian Smart City Maturity Model (Br-SCMM) (Afonso et al. 2015, S. 231–235)	-	-	-	-	X	-	-	-	X
Smart Cities Maturity Model (The Scottish Government 2014, S. 12)	X	X	-	-	X	X	X	-	-
Garuda Smart City Framework (GSCF) (Supangkat et al. 2018, S. 170–172)	-	-	-	-	-	-	-	-	X
SGMM (SGMM Team 2011, S. 13–56)	X	X	X	X	X	X	X	X	X

Legende: Dimension ist enthalten = X; nicht enthalten = -

Tabelle 39: Dimensionen der Anwendungsdomänen-Reifegradmodelle digitalisierter Produkte

Am meisten Abdeckung der verschiedenen Themenbereiche erzielen wiederum die Manufacturing-Modelle und das SGMM der Energy-Domäne, die gleichzeitig auch zu den am weitesten entwickelten Modellen zählen.

Der inhaltliche Vergleich über Anwendungsdomänen hinweg zeigt, dass domänenübergreifende Aspekte existieren. Die hohe Anzahl der Überschneidungen wiederum belegt die Vorteilhaftigkeit der Konsolidierung als domänenunabhängiges bzw. -übergreifendes Reifegradmodell. Die Bereiche mit geringer Überschneidung wiederum bieten das Potential für die Domänen ggf. Lücken zu schließen aufgrund von bisher unberücksichtigter bzw. unentdeckter Aspekte.

Dabei zeigten die verschiedenen Ergebnisquellen auch, dass eine reine Veränderung von (Technologie-bezogenen) Prozessen nicht ausreichend zu sein scheint. Vielmehr benötigt es einen ganzheitlichen Ansatz, der alle von der Transformation betroffenen Bereiche inkludiert und auch die Nutzerperspektive berücksichtigt. Mittelfristig sollten dabei die deskriptiven und präskriptiven Gestaltungsprinzipien weitestgehend abgedeckt werden. Weiterhin sollte die Modellanpassbarkeit bzw. Konfigurationsmöglichkeiten und die schnelle und einfache Einsatzfähigkeit durch einen strukturierten Verbesserungsplan bzw. Reifepfad nach Möglichkeiten Berücksichtigung finden.

Für die nachfolgende Ausgestaltung des Reifegradmodells der vorliegenden Arbeit bedeutet dies, dass die in Tabelle 37 gelisteten Anwendungsdomänen-Modelle und das Forschungsdomänen-Modell von PÉREZ HERNÁNDEZ UND REIFF-MARGANIEC (2014) die Grundlage der weiteren Modell-Ausgestaltung bilden.

Das oft als Grundlage eingesetzte CMM(I) wiederum wird aufgrund seines IT-Prozessfokus, der wie in den vorangegangenen Abschnitten dargestellt nicht ausreichend bzw. passend für die Entwicklung digitalisierter Produkte ist, nicht als direkte Grundlage für die Modellentwicklung eingesetzt. Indirekt werden aber Aspekte einfließen, da das CMM(I) meist Grundlage oder Referenzpunkt der Domänen-Modelle darstellt.

5.2 Ableiten von Parametern und Architekturkomponenten des Modells

Die vorangegangene Analyse und der Vergleich existierender Reifegradmodelle für digitalisierte Produkte erlaubte bereits erste Erkenntnisse und damit zu berücksichtigende Faktoren hinsichtlich der Entwicklung eines Reifegradmodells für digitalisierte Produkte. Diese werden innerhalb dieses Kapitels entsprechend aufgegriffen.

Dem Top-Down-Ansatz folgend (vgl. Ausführungen in Kapitel 4.4.1 und Kapitel 4.5) gilt als nächster Schritt im Rahmen der Reifegradmodellentwicklung die Rahmenparameter und Architekturkomponenten für das zu konzipierende Modell festzulegen. Dies geschieht anhand der in Kapitel 4.4.2 beschriebenen Gestaltungsprinzipien und Gestaltungsentscheidungsparameter für Reifegradmodelle nach RÖGLINGER ET AL. (2012, S. 331–333) und METTLER (2010, S. 81–84) sowie der bisher gewonnenen Erkenntnisse in Bezug auf digitalisierte Produkte der vorangegangenen Kapitel.

Zu den Rahmenparametern und zentralen Architekturkomponenten zählen:

- die Beschreibung des *Modell-Einsatzzweckes*,
- die durch das Modell adressierte *Zielgruppe*,
- das *Reifekonzept*,
- die *Reifegrade* und
- die *Dimensionen* des Modells.

Sie werden daher in den folgenden Abschnitten näher ausgeführt und für das zu konzipierende Modell festgelegt.

Darüber hinaus sieht die systematische Entwicklung von Reifegradmodellen (siehe Ausführungen in Kapitel 4.4) auch die a priori Festlegung folgender weiterer Parameter vor:

- Parameter der weiteren *Modellkonzeption* (z. B. Vorgehensweise der inhaltlichen Modellausgestaltung, Quellenbasis des Modellinhalts),
- Parameter der späteren Anwendung des Modells zur *Reifebewertung* (z. B. Bewertungskriterien, Vorgehensweise der Bewertung) und
- Parameter der *Modellevaluation* bzw. *Modellevolution* (z. B. Vorgehen der Evaluation).

Sie werden daher ebenfalls in den nachfolgenden Abschnitten behandelt, bevor das Modell inhaltlich im Rahmen des feinen Modellkonzepts in Kapitel 6 weiterentwickelt wird.

5.2.1 Idee, Zweck und Zielgruppe des Modells

Das im Rahmen der vorliegenden Arbeit zu entwickelnde Modell soll helfen die bestehenden Lücken der Forschungs- bzw. Anwendungsdomänen-bezogenen Modelle zu schließen, indem ein bisher *domänenunabhängiges/domänenübergreifendes* Reifegradmodell konzipiert wird. Der Fokus des Modells soll demzufolge nicht auf einer Domäne, sondern vielmehr allgemein auf digitalisierten Produkten, wie sie in Kapitel 3.2.3 und Kapitel 3.3.4 definiert wurden, liegen.

Der domänenunabhängige Ansatz erlaubt den Einsatz des Modells sowohl in etablierten Domänen, die ggf. schon über Reifegradmodelle verfügen, als auch in noch jungen Domänen ohne Reifegradmodell. Überdies bietet sich auch Potential für bereits existierende Reifegradmodelle: Durch den Vergleich mit dem Modell der vorliegenden Arbeit können etwaigen Lücken und damit Verbesserungsmöglichkeiten für die Modelle identifiziert werden.

Die Grundlage für das Reifegradmodell dieser Arbeit bilden die in Kapitel 5.1 identifizierten Reifegradmodelle digitalisierter Produkte. Durch die Zusammenführung der unterschiedlichen Modelle stellt der Modellentwurf in Teilen eine Neuentwicklung und in Teilen eine Weiterentwicklung dar.

Das Modell wird dadurch sowohl deskriptive wie auch präskriptive Elemente beinhalten. Der erste Modellentwurf wird allerdings aufgrund des deskriptiven Fokus der Quellmodelle ebenfalls primär deskriptiv sein. Dadurch ist das Modell der Ist-Zustandsbewertung dienlich, die wiederum der ersten Hälfte der Metapher des Regelkreises entspricht (vgl. Kapitel 4.3). Die vorliegende Arbeit schließt sich somit dem Verständnis nach DE BRUIN ET AL. (2005, o. S.) an, nach dem die Modell-Ausprägungen (deskriptiv, präskriptiv, komparativ) evolutionäre Phasen eines Modell-Lebenszyklus darstellen. Zukünftige Verbesserungen und Weiterentwicklungen sollten folglich als nächsten Schritt die präskriptiven Aspekte priorisieren.

Die *Zielgruppe* des Modells sind produzierende Unternehmen oder anderweitige Einrichtungen, die digitalisierte Produkte entwickeln oder planen dies zukünftig zu tun, sowie Unternehmensberatungen und Forschungseinrichtungen. Die produzierenden Unternehmen bzw. Einrichtungen werden bei der Entwicklung digitalisierter Produkte durch die zur Verfügungstellung eines Diagnose- und Planungswerkzeug unterstützt. Das Modell ermöglicht die Evaluation und Einordnung bisheriger Aktivitäten oder die Planung notwendiger bzw. fehlender Aktivitäten in Bezug auf die angestrebte Reife des digitalisierten Produkts. Dadurch eignet sich das Modell für die Selbsteinschätzung bzw. Eigenanalyse, der Aufdeckung von Lücken und Handlungsoptionen und als Instrument der Planung auf Managementebene.

Externe Modellanwender (z. B. Beratungsunternehmen) können die Positionierung eines Unternehmens im Rahmen des Reifegradmodells (z. B. als Teil einer Fremdanalyse) bewerten und darauf basierend passende Beratungsangebote für ein Unternehmen ableiten bzw. entwickeln. Darüber hinaus können multiple solcher Bewertungs-Ergebnisse als Vergleichsansatz für verschiedene Unternehmen und deren Produkte eingesetzt werden.

Der Vergleich verschiedener Unternehmen bietet auch im Rahmen der Forschung Potential, um z. B. verschiedene Domänen und deren Produktreife zu analysieren und anhand der aggregierten Daten Auskunft über den Entwicklungsstand einer Domäne geben zu können. Als Erstentwurf sind auch Weiterentwicklungen und das Ableiten von ergänzenden Forschungsfragen und -projekten möglich bzw. notwendig.

Als Bezeichner für das Modell dieser Arbeit wird dementsprechend *Digitized Product Maturity Model* (DPMM) festgelegt.

5.2.2 Reifekonzept und Reifegrade des Modells

Wie in Kapitel 4.3.2 dargelegt, kann das Reifekonzept Prozess-, Objekt- oder Personen-fokussiert sein (*eindimensional*) oder eine beliebige Kombination dieser drei darstellen (*multidimensional*) (Mettler und Rohner 2009, o. S.; Mettler 2010, S. 82–83; Pöppelbuß und Röglinger 2011, o. S.). Die Reifegrade stellen dabei die Zwischenzustände bei der Entwicklung entlang eines Reifepfades dar. Je nach Modellgestaltung kann die Reife erst bei Erlangung der letzten Stufe (Fokus vollständiges Durchlaufen, Lebenszyklus-Variante) oder auf jeder Zwischenstufe (Fokus Verbesserung pro Stufe, Variante der potentiellen Verbesserung) erlangt werden (McBride 2010, S. 243; Wendler 2014, S. 33–34).

In den bisherigen Reifegradmodellansätzen für die Anwendungsdomänen digitalisierter Produkte wurden zumeist die Reifegrade des CMM(I) (angepasst) übernommen (vgl. Kapitel 5.1.8). Das CMM(I) und zugehörige Reifegrade fokussieren auf die Verbesserung von (Software-)Prozessen (vgl. Kapitel 4.3.4), sodass über die Prozessreife versucht wird eine Produktverbesserung zu erzielen. Ausnahme hiervon bildet der in Kapitel 5.1.7 identifizierte und vorgestellte Ansatz von PÉREZ HERNÁNDEZ UND REIFF-MARGANIEC (2014). Der Ansatz orientiert sich nach eigenen Angaben zwar ebenfalls am CMM, entwickelt daraus allerdings Objekt-orientierte Reifeebenen (*Capability Levels*), die sich an den Fähigkeiten (*Capabilities*) der Objekte und deren Abhängigkeiten untereinander orientieren. Dabei sind jedoch die 3. (*Enhanced*) und 4. Ebene (*Aware*) in ihrer Ausgestaltung nicht trennscharf und erlauben Teilweiterentwicklungen, während die 5. Ebene (*IoT Complete*) die vollständige Umsetzung aller *Capabilities* fordert (Pérez Hernández und Reiff-Marganiec 2014, S. 311–315).

Ein weiterer alternativer Reifegradansatz ergibt sich aus dem System-of-Systems-Ansatz (vgl. Kapitel 3.3.3), der die Ökosystem-Perspektive digitalisierter Produkte repräsentiert: Die Reife wird hierbei über die Ergänzungen verschiedener Komponenten und damit der Weiterentwicklung digitalisierter Produkte ausgedrückt.

Durch das Ergänzen von Komponenten der Vernetzung, der Involvierung verschiedener Stakeholder/Kooperationspartner usw. wird aus einem einzelnen physischen Produkt ein Satz vernetzter, intelligenter Systeme, die als Ökosystem fungieren. Dabei basiert jede Stufe der Ergänzung auf der vorherigen, sodass zunächst die Reife auf jeder Stufe erreicht werden sollte, um das Potential auf der höher gelegenen Stufe erlangen und Risiken und Konflikte frühzeitig begegnen zu können (Porter und Heppelmann 2014a, S. 74–75; Zheng et al. 2019, S. 5–6). Aus Reifegradmodellierungsperspektive entspricht dieser Ansatz der Variante der potentiellen Verbesserung und inkludiert eine Objekt- und Personenperspektive, wobei die Objektreife im Zentrum der Betrachtung steht.

Das Anwendungsdomänen-Reifegradmodell für Smart-Cities von THE SCOTTISH GOVERNMENT ET AL. (2014, S. 11–12) kombiniert wiederum den System-of-Systems-Ansatz mit den an das CMMI angelehnten Reifegraden. Es wurde erkannt, dass es sich bei dem Smart-City-Konzept um einen vernetzten Systemansatz basierend auf Daten und digitalen Technologien handelt, bei dem mehrere Systeme strategisch verwaltet werden müssen. Dabei werden jedem Reifegrad einen als *City Management Status* bezeichneten Systemzustand zugewiesen (siehe Tabelle 40). Mit jedem Level bzw. Reifegrad steigt die Integration in verschiedenen Bereichen wie z. B. Kollaborationen mit Partnern, die über die reine technologische Integration hinausgehen. Obwohl eine Smart City grundsätzlich als Konzept bereits als Systems-of-Systems verstanden werden kann, wird hier der letzte zu erreichende Reifegrad als Systems-of-Systems verordnet.

Reifegrad (Level)	Systemzustand (City Management Status)
Level 1 Ad-Hoc (Siloed)	Hierbei liegt der Fokus auf digitalen und datengetriebenen Service-Verbesserungen.
Level 2 Opportunistic (System Collaboration)	Im Fokus stehen das ganzheitliche Systemdenken und das aufkommende Teilen von Daten aufgrund von grenzübergreifenden Partnerschaften.
Level 3 Purposeful & Repeatable (System Integration)	Geteilte Investitionen in System-weite Technologien ermöglichen eine durch Strategie geführte und Ergebnis getriebene Smart City mit geteilter Verantwortung.
Level 4 Operationalised (Managed System)	Technologien und Daten ermöglichen ein dynamisches Sense- und Response-System, das verbesserten Vorhersagen, Prävention und Echtzeit-Reaktionen ermöglicht.
Level 5 Optimised (Sustainable and Open System-of-Systems)	Die kontinuierliche adaptive Umsetzung von ‚smart‘ und der offene System-of-Systems-Ansatz fördern Innovation und verbessern dadurch die Wettbewerbsfähigkeit.

Tabelle 40: Reifegrade des Scottish Government Smart-City-Reifegradmodells

Quelle: in Anlehnung an THE SCOTTISH GOVERNMENT ET AL. (2014, S. 11–12)

Die Orientierung an einem bestehenden Konzept wie den CMM(I)-Reifegraden ermöglicht es, eine fundierte Basis und Vergleichsmöglichkeiten zu erhalten. Auch

gestaltet sich dadurch eine etwaige Zusammenführung einfach. Jedoch stellen Prozesse nur einen Teilbereich der Herausforderungen digitalisierter Produkte dar (siehe Kapitel 3.4 und 5.1). Darüber hinaus werden unter dem Konzept des digitalisierten Produktes verschiedene Arten von Produkten verstanden, die in den verschiedenen Anwendungsdomänen Ausdruck finden und sich trotz der gemeinsamen Kernarchitektur in ihrer finalen Komplexität stark unterscheiden, wie dies durch den System-of-Systems-Ansatz deutlich wird. Als soziotechnische Informationssysteme (siehe Kapitel 3.2.3) stellen sie außerdem keine reinen Technikkomponenten dar. Neben den technologischen Komponenten (*Objekte*) sind auch die sozialen Komponenten (*Personen*) zu berücksichtigen.

METTLER UND ROHNER (2009, o. S.) debattieren daher, dass die Reifebewertung eines Unternehmens nicht nur über die Prozessreife geschehen, sondern auch die Personen und Objektreife berücksichtigen sollte. Dabei schlagen die Autoren einen multidimensionalen Ansatz vor, der es erlaubt, die nächste Reifestufe über die Prozess-, Objekt- oder Personenreife zu erlangen. Ein nicht rein auf die Prozessreife-fokussierter Ansatz ist daher besser geeignet, um Unternehmen bei der Entwicklung digitalisierter Produkte zu unterstützen.

Bei einem inhaltlichen Vergleich der Reifeebenen bzw. -grade der drei bestehenden alternativen Ansätze (System-of-Systems-Ansatz, kombinierter Smart-City-System-of-Systems-Ansatz, Objektfähigkeiten-Ansatz), wie in Tabelle 41 vereinfacht dargestellt, fallen deutliche Überschneidungen auf. Da die Ansätze einen objektorientierten bzw. im Falle des Smart-City-Ansatzes einen kombinierten Ansatz aufweisen, soll ihre Zusammenführung die Reifeebenen der vorliegenden Arbeit als kombinierter Reifeansatz konstituieren.

Ziel hierbei ist allerdings nicht zwangsläufig die letzte Stufe erreichen zu müssen, auch wenn dies bei bestimmten Anwendungsdomänen wie die der Smart City sicherlich empfehlenswert wäre. Stattdessen sollen Unternehmen oder Institutionen den von ihnen angestrebten Objektzustand erreichen. Dementsprechend handelt es sich bei dem Reifepfad des Modells der vorliegenden Arbeit um die *Variante der potentiellen Verbesserung*, bei der jede Zwischenstufe bereits eine Reifeerreicherung darstellt. Dadurch kann den verschiedenen Praxisausprägungen der Anwendungsdomänen der digitalisierten Produkte begegnet werden und das Modell sowohl zur Unterstützung der Entwicklung von einfachen digitalisierten Produkten als auch bei der Konzeption eines System-of-Systems (z. B. Smart City) unterstützen.

	Ansatz			Zusammenführung
	System-of-Systems-Ansatz	Smart-Object-Capability-Ansatz	Scottish Government Smart-City-Ansatz	
Reifegrade	1. Physical Product	-	-	-
	2. Smart Product	1. Essential (Digital identification, Communication, Retention, Energy-harvesting)	1. Ad-Hoc (Siloed)	1. Smart Product
	3. Smart, connected Product (erweiterte Services, Vernetzung)	2. Networked (Networking, Processing, Programming)	2. Opportunistic (System collaboration for cross boundary partnerships)	2. Smart, connected Product
		3. Enhanced (Logging, Sensing, Actuating, Shielding, Rule-Adaption)	-	
	4. Product System (Plattform, Integration zu Angebotspaket)	4. Aware (Self-/ Environment-/ Human-awareness, Goal Orientation)	4. Operationalised (Managed system for improved prediction, prevention and real-time response)	3. Aware smart, connected Product
		5. IoT Complete (Social Readiness, Self-Management)	3. Purposeful & Repeatable (System integration through joint system-wide investment programs)	4. Product System
5. System-of-Systems (Kombination von Produktfamilien zu Ökosystem)	-	5. Optimised (Sustainable and Open System-of-Systems)	5. System-of-Systems	
Quelle	(Porter und Heppelmann 2014a, S. 74-75; Zheng et al. 2019, S. 5-6)	(Pérez Hernández und Reiff-Marganiec 2014, S. 312-315)	(The Scottish Government et al. 2014, S. 11-12)	
Legende: - = kein Äquivalent enthalten				

Tabelle 41: Vergleich und Zusammenführung der Reifegrade verschiedener Ansätze digitalisierter Produkte

Dabei sei zu erwähnen, dass in der Praxis noch kein vollständiges Smart-City-Konzept etabliert werden konnte. Bisherige Ansätze weisen zudem oft einen starken Technologie-Fokus auf und ökologische und gesellschaftliche Auswirkungen bleiben unberücksichtigt (Alizadeh und Irajifar 2018; Yigitcanlar et al. 2019, S. 7). Bei der Modellkonzeption sollten daher auch Technologie-unabhängige Aspekte berücksichtigt werden. Die Analyse der Reifegradmodelle in Kapitel 5.1.8 zeigte

bereits, dass viele Reifegradmodelle Aspekte in Bezug auf die Nutzer oder ökologische Aspekte vernachlässigen, wodurch sich ein Alleinstellungsmerkmal des Modells ergeben kann.

Die inhaltliche Zusammenführung zu den Reifegraden der vorliegenden Arbeit ist im Folgenden beschrieben und wurde in Tabelle 41 ergänzend in der Spalte *Zusammenführung* hinterlegt. Eine Zusammenfassung der zentralen Merkmale der entstandenen Reifegrade findet sich in Tabelle 42.

Reifegrad R1: Smart Product

Während die erste Ebene des System-of-Systems-Ansatzes ein klassisches Produkt ohne weitere Funktionen darstellt und damit von der Betrachtung im Rahmen der vorliegenden Arbeit ausgeschlossen werden kann, entspricht die nächste Ebene (*Smart Product*) der ersten Ebene des Smart-Object-Capability-Ansatzes (*Essential*) (siehe Tabelle 41). Durch die beiden Ansätze ergeben sich folgende Eigenschaften des digitalisierten Produkts dieser Stufe und damit für den Reifegrad:

Durch die Fähigkeit der digitalen Identifikation mittels einer eindeutigen und unveränderbaren Identität (z. B. durch eine RFID) kann ein statisches, digitales Abbild des digitalisierten Produkts erstellt werden. Durch Kommunikationsmöglichkeiten können Informationen mit Nutzern oder anderen Objekten ausgetauscht werden und erste rudimentäre, analytische Optionen ermöglicht werden. Dabei erfolgt der Zugriff auf z. B. das Internet über andere Objekte (Intermediäre), also nicht durch das Produktobjekt selbst. Die Speicherung der Identitätsinformationen und ggf. zusätzliche Informationen (z. B. über sich selbst oder die Umgebung) kann beim Objekt selbst stattfinden oder in weitere Komponenten ausgelagert sein. Daher ist in kleinerem oder größerem Umfang auch (selbsterzeugte oder durch externe Ressourcen bezogene) Energie notwendig, um z. B. den Speicher zu ermöglichen. Die benötigte Energie des Objekts ist in der Regel proportional zu der Komplexität der Aufgaben, die das Objekt fähig ist durchzuführen (Pérez Hernández und Reiff-Marganec 2014, S. 312–314; Porter und Heppelmann 2014a, S. 74–75; Zheng et al. 2019, S. 5–6).

Auch im Rahmen des Smart-City-Konzepts stellt die erste Reifestufe einen abgegrenzten Ansatz dar (*Siloed*), dessen Fokus auf digitalen und datengetriebenen Service-Verbesserungen liegt. Dadurch soll ein Nachweis (*Evidence*) für die Möglichkeiten der Smart City erbracht werden und eine etablierte Grundlage (*Business Case*) geschaffen werden (The Scottish Government et al. 2014, S. 9).

Reifegrad R1 (Smart Product): Digitalisierte Produkte des ersten Reifegrads sind demnach weitestgehend abgegrenzte Objekte, die einen digitalen und datengetriebenen Service anbieten. Hierfür können sie im Informationsaustausch mit Nutzern oder anderen Objekten stehen. Die analytischen Fähigkeiten, wenn vorhanden, sind allerdings eher als rudimentär zu bezeichnen. Die Speicherung von Informationen kann beim Produkt selbst liegen oder ausgelagert sein.

Reifegrad R2: Smart, connected Product

Aufbauend auf dem Reifegrad *Smart Product* sieht der System-of-Systems-Ansatz als nächsten Reifegrad ein intelligentes Objekt mit erweiterten Services und Vernetzungsmöglichkeiten vor (*Smart, connected Product*) (Porter und Heppelmann 2014a, S. 74–75; Zheng et al. 2019, S. 5–6).

Der Smart-Object-Capability-Ansatz und der Smart-City-Ansatz sehen hier eine differenziertere Ausgestaltung vor (siehe Tabelle 41). Der inhaltliche Vergleich zeigte, dass sich aus der Zusammenführung der verschiedenen Ansätze zwei Reifegrade ergeben (R2 und R3). Im Folgenden werden daher die für den Reifegrad R2 relevanten Ebenen vorgestellt, während im nächsten Abschnitt die für den Reifegrad R3 relevanten Ebenen behandelt werden.

Der Smart-Object-Capability-Ansatz differenziert passend zum intelligenten, vernetzten Objekt des System-of-Systems-Ansatzes die folgenden zwei Ebenen aus (Pérez Hernández und Reiff-Marganiec 2014, S. 312–315): *Networked* und *Enhanced*.

Networked: Neben den Komponenten bzw. der Infrastruktur, die notwendig ist für die Vernetzung (*Networking*), werden als zentrale Fähigkeiten des digitalisierten Produkts die Fähigkeiten der Verarbeitung von Befehlen (*Processing*) und die Möglichkeit der Programmierung (*Programming*) verstanden. Dafür werden neben Energie auch weitere Hardware-Komponenten benötigt, wie eine beigefügte oder ausgelagerte Verarbeitungseinheit oder ein Netzwerkadapter, um verschiedenen intra oder inter Objekt- oder Systemnetzwerken beitreten zu können. Dabei sind auch komplexere Hardware-Architekturen und die Unterstützung multipler Kommunikationspattern (*one-to-one, one-to-many, many-to-one*) möglich. Objekte dieser Ebene sind demnach fähig, direkt oder durch ein Gateway auf das Internet zu zugreifen (Pérez Hernández und Reiff-Marganiec 2014, S. 312–315).

Enhanced: Der nächste Schritt der Erweiterung sieht dann die folgenden Fähigkeiten für Objekte der Ebene vor, wobei die Objekte einzelne oder mehrere dieser Capabilities aufweisen können (Pérez Hernández und Reiff-Marganiec 2014, S. 312–315):

- Registrierung von Events (*Logging*),
- Sammlung von Live-Informationen der Umgebung oder über das Objekt selbst durch multiple Sensoren (*Sensing*),
- Durchführen von Umgebungs- oder Objekt-Veränderungen (*Actuating*),
- Schutz der Informationen und Aufbau von Vertrauen durch das Objekt selbst in Bezug auf die Charakteristiken Availability, Accuracy, Authenticity, Confidentiality, Privacy, Integrity, Utility und Possession (*Shielding*) sowie
- das Anpassen von Objekt-Operationen aufgrund der Sensordaten anhand vordefinierter Regeln (*Rule-Adaption*).

Die Fähigkeiten *Sensing* und *Actuating* (insbesondere *Sensing*) werden heutzutage bereits als architektonischer Teil digitalisierter Produkte verstanden (vgl. Kapitel 3) und sollten daher spätestens auf diesem Reifegrad verordnet sein. Eine Einordnung auf dem ersten Reifegrad wäre ebenso denkbar. Um aber verschiedenen Ausprägungen digitalisierter Produkte nachzukommen, erlaubt die Einordnung auf dem zweiten Reifegrad auch die Ausprägung von digitalisierten Produkten ohne Sensoren oder Aktuatoren.

Die Fähigkeit *Rule-Adaption* steht in engem Zusammenhang mit *Sensing* und *Actuating*, daher ist z. B. eine Verordnung auf einem geringeren Reifegrad nicht möglich.

Die Fähigkeiten *Networking*, *Processing*, *Programming*, *Logging* und *Shielding* sollte ein digitalisiertes Produkt aufweisen, sobald dieses als Teil eines Netzwerkes verstanden werden kann. Dadurch können wichtige Eventinformationen verarbeitet und sensible Daten geschützt werden. Dies entspricht daher dem vernetzten Charakter der Ebene *Smart, connected Product* des System-of-Systems-Ansatzes.

Aus dem Smart-City-Ansatz nach THE SCOTTISH GOVERNMENT ET AL. (2014, S. 9–11) ergibt sich wiederum die Ebene *Opportunistic* als inhaltliche Entsprechung: Die Ebene legt den Fokus auf ein ganzheitliches Systemdenken (teilweise integrierte Architekturen) und das aufkommende Teilen von Daten mit dem Ziel grenzübergreifender Partnerschaften (*Collaboration*). Der Vernetzungsgedanke im Form von Integration und Teilen von Daten stehen daher auch hier im Vordergrund passend zu den beiden anderen Ansätzen. Allerdings wird hier, anders als bei den anderen Ansätzen, auch die aufkommende Zusammenarbeit mit Partnern betont. Also eine weitere Form der Vernetzung. Darüber hinaus betont der Ansatz einen holistischen System-Ansatz, der wiederum die Vernetzung verbessern kann.

Reifegrad R2 (Smart, connected Product): Digitalisierte Produkte des zweiten Reifegrads des Reifegradmodells dieser Arbeit, dem DPMM, sind demnach vernetzte Objekte, die multiple Sensoren für die Umgebungs- und Objektinformationssammlung einsetzen. Aktuatoren und vordefinierte Regeln erlauben die sich daraus ergebende Umgebungs- oder Objekt-Manipulation durch die Produkte. Erste Kollaborationen mit Partnern ermöglichen wiederum ein erweitertes Service-Angebot, wobei sensible Daten geschützt werden müssen.

Reifegrad R3: Aware smart, connected Product

Aufgrund der detaillierten Ausdifferenzierung des Smart-City- und des Capability-Ansatzes im Gegensatz zum System-of-Systems-Ansatz, lässt sich neben dem Reifegrad R2 der Reifegrad R3 *Aware smart, connected Product* ableiten.

Der Smart-Object-Capability-Ansatz bietet hierfür die Ebene *Aware* an. Auf dieser Ebene sieht der Ansatz die Sammlung verschiedenster Informationen als Objekt-Fähigkeiten vor (Pérez Hernández und Reiff-Marganiec 2014, S. 312–315):

- *Self-awareness*: Informationssammlung über das Objekt selbst,
- *Environment-awareness*: Informationssammlung über das Umfeld und die umgebenden Objekte und
- *Human-awareness*: Informationssammlung über die mit dem Objekt interagierenden Personen.

Darüber hinaus benötigen Objekte dieser Ebene ein gewisses Level an Autonomie, da sie in der Lage sein sollen, vordefinierte, übergeordnete Ziele durch ein (dynamisch) selbst-generiertes Vorgehen zu erreichen (*Goal Orientation*) (Pérez Hernández und Reiff-Marganiec 2014, S. 314–315).

Dabei geht es beim Sammeln der Umfeldinformationen nicht nur um die Ergänzung von Sensoren zur Erfassung dieser Daten, sondern auch um das Einbringen von zusätzlichem Wissen, z. B. über die Umgebung (Temperatur, Lärm, etc.) oder die vorhandene Infrastruktur. Bei der Sammlung insbesondere der personenbezogenen Daten handelt es sich um sensible Informationen, die wiederum einen entsprechenden Schutz bedürfen. Darüber hinaus inkludiert dies auch Services, die die Personeninteraktion verbessern wie z. B. anpassbare User Interfaces (Pérez Hernández und Reiff-Marganiec 2014, S. 312–315).

Die Capabilities dieser Ebene bauen demnach direkt auf verschiedenen Capabilities der Enhanced-Ebene und damit Reifegrad R2 auf und entwickeln diese weiter. Durch die Ergänzung zahlreicher Sensoren und Aktuatoren ist eine vollständige Überwachung der Aktivitäten des Objekts möglich. Dabei muss auch auf dieser

Ebene ein Objekt nicht alle definierten Capabilities aufweisen, benötigt aber jeweils die zugehörigen bzw. in Abhängigkeit stehenden Capabilities der Ebenen darunter (Pérez Hernández und Reiff-Marganec 2014, S. 312–315).

Auch der Smart-City-Ansatz sieht hier eine eigene Ebene *Operationalised* vor. Die Ebene fokussiert auf die Etablierung eines dynamischen Sense- und Response-Systems mit verbesserten Vorhersagen, Prävention und Reaktionen in Echtzeit (Managed System) (The Scottish Government et al. 2014, S. 9).

Dadurch wird, wie in Tabelle 41 ersichtlich, die eigentliche dritte Ebene *Purposeful and Repeatable* des Ansatzes bei der Zuordnung übersprungen. Die Ebene *Purposeful and Repeatable* lässt sich der vierten Ebene *Product System* des System-of-Systems-Ansatzes und damit der fünften Ebene *IoT Complete* des Smart-Object-Capability-Ansatzes zuordnen. Sie ist daher inhaltlich dem nachfolgenden Reifegrad R4 zugeordnet.

Reifegrad R3 (Aware smart, connected Product): Digitalisierte Produkte des dritten Reifegrads des Reifegradmodells dieser Arbeit, dem DPMM, sind dementsprechend Objekte mit erweiterten Sensoren und Aktuatoren zur (Teil-)Überwachung der gesamten Umgebung inklusive verschiedenster Objekte und Personen. Durch die Ergänzung um zusätzliches Wissen und autonomen Fähigkeiten wird ein dynamisches Sense- und Response-System mit verbesserten Vorhersagen, Präventionen und Echtzeit-Reaktionen ermöglicht. Dabei ist auch der Schutz sensibler Daten notwendig.

Reifegrad R4: Product System

Die vierte Ebene des System-of-Systems-Ansatzes (*Product System*) entspricht der fünften Ebene (*IoT Complete*) des Smart-Object-Capability-Ansatzes und der dritten Ebene (*Purposeful and Repeatable*) des Smart-City-Ansatzes (siehe Tabelle 41).

Aus Sicht des System-of-Systems-Ansatzes handelt es sich hierbei um die Plattform-basierte, systematische Integration von intelligenten, vernetzten Produktlösungen, sodass Unternehmen nicht mehr nur ein singuläres Produkt anbieten können, sondern ein Angebotspaket eng in Beziehung stehender Produkte und zugehöriger Dienstleistungen (Porter und Heppelmann 2014a, S. 74–75; Zheng et al. 2019, S. 5–6).

Der Integrationsgedanke findet sich ebenfalls im Smart-City-Ansatz in der Ebene *Purposeful and Repeatable* wieder. Die Ebene *Purposeful and Repeatable* fokussiert auf geteilte Investitionsprogramme in System-weite Technologien (Integration), die eine durch Strategie-geführte und Ergebnis-getriebene Smart City mit geteilter Verantwortung ermöglichen. (The Scottish Government et al. 2014, S.

12). Der System-of-Systems-Ansatz wird dadurch um den finanziellen Aspekt der geteilten Investitionsprogramme mit Unternehmenspartnern als Basis der Systemintegration als auch die Investition in Big-Data-Anwendungen ergänzt.

Der Smart-Object-Capability-Ansatz wiederum sieht hier die Fähigkeiten der Objekte vor, selbstständig Beziehungen aufzubauen, Interaktionen durchzuführen und gegenseitig Informationen mit anderen Objekten durch die Verbindung mit sozialen Objekt-Netzwerken (*Social Readiness*) austauschen zu können. Ferner sollen die Objekte in der Lage sein, aus Erfahrungen lernen zu können, um den Betrieb und die Ressourcennutzung zu verbessern und den eigenen Lebenszyklus (inklusive Verhalten, Ressourcen, Reaktion auf Störungen, Instandhaltung und Selbstreparatur, etc.) zu leiten (*Self-Management*). Der Einsatz künstlicher Intelligenz (z. B. Machine-Learning) ist hierbei eine Notwendigkeit, um die dafür notwendige Autonomie bzw. Entscheidungsfindung der Objekte ermöglichen zu können (Pérez Hernández und Reiff-Marganiec 2014, S. 312–315).

Der Ansatz setzt im Gegensatz zum System-of-Systems-Ansatz an dieser Stelle weniger auf Integration als mehr auf Kommunikation. Gleichzeitig werden die Objekte aber auch als Teil eines sozialen Objekt-Netzwerkes eingeordnet und damit einer umfangreicheren und tiefgreifenderen Vernetzung als dies beim smart, connected Produkt des zweiten Reifegrads angedacht ist.

Ergänzend betont der Ansatz die wachsende Objekt-Autonomie und damit verbunden der zunehmende Einsatz künstlicher Intelligenz. Dies findet in den anderen beiden Ansätzen keine explizite Erwähnung, obwohl dies für verschiedene Funktionen wie Vorhersagen oder selbstständige Reparaturen notwendig ist.

Reifegrad R4 (Product System): Digitalisierte Produkte des vierten Reifegrads des Reifegradmodells dieser Arbeit, dem DPMM, sind dementsprechend Plattform-basierte, integrierte und vernetzten Produktlösungen. Der Einsatz künstlicher Intelligenz sorgt für eine hohe Objekt-Autonomie, sodass sie z. B. durch selbstständigen Beziehungsaufbau Teil sozialer Objektnetzwerke sein können, selbstständige Reparaturen durchführen oder die Ressourcen-Nutzung verwalten können. Hierfür sind auch Investitionen in Big-Data-Anwendungen nötig, während gleichzeitig die Finanzierung durch mit Partnern geteilte Investitionsprogramme erleichtert wird.

Reifegrad R5: System-of-Systems

Die letzte Ebene des gleichnamigen Ansatzes, *System-of-Systems*, versteht sich als Kombination von Produktfamilien, Unterstützungssystemen und externen In-

formationen, die ein einheitliches Ganzes bilden (siehe hierzu auch die Ausführungen zu System-of-Systems in Kapitel 3.3.3) (Porter und Heppelmann 2014a, S. 74–75; Zheng et al. 2019, S. 5–6).

Die Ebene findet keine Entsprechung im Smart-Object-Capability-Ansatz. Der Smart-City-Ansatz dagegen sieht ebenfalls eine das Modell abschließende Ebene *Optimised* vor, die sich als *Sustainable and Open System-of-Systems* versteht. Dabei wird das Smart-Konzept auf alle Bereiche der Smart City kontinuierlich angepasst ausgeweitet, wodurch Innovationen (auch die offene und nachhaltig gestaltete Architektur) vorangetrieben werden und damit die Wettbewerbsfähigkeit der ganzen Stadt gefördert werden sollen (The Scottish Government et al. 2014, S. 9).

Reifegrad R5 (System-of-Systems): Bei digitalisierte Produkte des fünften Reifegrads des Reifegradmodells dieser Arbeit, dem DPMM, handelt es sich dementsprechend um einen Verbund von Produktfamilien, Unterstützungssystemen und externen Informationen zur Bildung eines Ökosystems. Dadurch wird ein unabhängiges Komponentensystem mit hoher Diversität und Redundanz geschaffen, dessen Mehrwert größer als die Summe seiner Teile ist. Die möglichst offene und nachhaltige Architektur soll Innovation und die Wettbewerbsfähigkeit fördern.

Zentrale Merkmale	
R1: Smart Product	<p><i>Fokus: digitale und datengetriebene Service-Verbesserung des physischen Objekts und Schaffung eines Business Case</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Digitale Identifikation/digitales Objektabbild • Informationsaustausch (mit Nutzern/Objekten) • Rudimentäre analytische Optionen • Etwaiger Internetzugriff über Dritte
R2: Smart, connected Product	<p><i>Fokus: Vernetzung und Einsatz von Sensoren sowie Kollaboration und Datenschutz</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Vernetzung mit intra/inter Objekt- oder Systemnetzwerken (inkl. Internet) und Unterstützung multipler Kommunikationspatern • Verarbeitung von Befehlen, Programmierbarkeit und Anpassen von Objekt-Operationen aufgrund von Sensordaten und vordefinierter Regeln • Sammlung von Umgebungs- und Objektinformationen durch multiple Sensoren und Durchführen von Umgebungs- oder Objekt-Veränderungen mittels Aktuatoren; • Registrierung von Events • Schutz von sensiblen Informationen und Aufbau von Vertrauen • Ganzheitliches Systemdenken (teilweise integrierte Architekturen) • Data Sharing/Kollaboration mit Partnern
R3: Aware smart, connected Product	<p><i>Fokus: Teilüberwachung und Teilautonomie der Objektaktivitäten sowie Echtzeit-Reaktionen</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Erweiterte Sammlung von Objekt-, Umgebungs- und Nutzerinformationen • Autonomie zur Erreichung vordefinierter übergeordneter Ziele • Ergänzung der gesammelten Informationen um zusätzliches Umgebungswissen, etc. • Schutz der sensitiven Daten notwendig • Verbesserung der Personeninteraktion • Geführtes, dynamisches Sense- und Response-System für verbesserte Vorhersagen, Prävention und Echtzeit-Reaktionen
R4: Product Systems	<p><i>Fokus: integriertes Angebotspaket, Objekt-Autonomie sowie Big Data</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Plattform-basierte, systematische Integration von intelligenten, vernetzten Produktlösungen • mit Partnern geteilte, system-weite Investitionsprogramme • soziale Objektnetzwerke (selbstständiger Beziehungsaufbau durch die Produkte und gegenseitiger Informationsaustausch) • Erfahrungs-basierte selbstständige Verbesserung/Instandhaltung/Reparatur/Ressourcennutzung/etc. • Einsatz künstlicher Intelligenz für notwendige Objekt-Autonomie • Investitionen in Big-Data-Anwendungen
R5: System-of-Systems	<p><i>Fokus: Ökosystem-Aufbau, Offenheit und Nachhaltigkeit</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Ökosystem: Verbund von Produktfamilien, Unterstützungssystemen und externen Informationen • Unabhängige Komponentensysteme mit hoher Diversität • Redundanz aufgrund der Autonomie der Komponentensysteme • Vorteile des Verbunds überwiegen Kosten (Kollaborations-Anreize) • Mehrwert größer als die Summe seiner Komponenten • Smart-Konzept Ausweitung auf alle Bereiche einer Anwendungsdomäne • Möglichst offene (Open Data) und nachhaltig gestaltete Architektur (Innovation und Wettbewerbsfähigkeit)

Tabelle 42: Übersicht über die zentralen Reifegrad-Merkmale des DPMM

5.2.3 Gestaltungsdimensionen des Modells

Die Dimensionen eines Reifegradmodells stellen eine Kategorisierung des Untersuchungsbereichs dar, die es gilt für jeden Reifegrad durch Elemente bzw. Aktivitäten auszugestalten (de Bruin et al. 2005, o. S.).

Für das zu konzipierende Modell, das DPMM, bedeutet dies, die Kategorisierung digitalisierter Produkte. Eine solche Kategorisierung fand bereits durch die *Identifizierung der zentralen Komponenten digitalisierter Produkte* (Kapitel 3.3) statt. Im Rahmen der Analyse von Herausforderungen digitalisierter Produkte wurden die Komponenten durch *Herausforderungsbereiche* verfeinert (Kapitel 3.4). Eine weitere, alternative, aber ähnlich geartete Kategorisierung fand im Rahmen der *Dimensionsanalyse* bestehender Reifegradmodelle für digitalisierte Produkte statt (Kapitel 5.1.8).

Im direkten Vergleich weisen die Kategorisierungen aufgrund ihres gemeinsamen, zentralen Betrachtungsgegenstandes zahlreiche thematische Überschneidungen auf, bringen jedoch auch eigene, weitere Elemente mit ein. Eine Zusammenführung der Kategorisierungen ist daher möglich und verringert die Möglichkeit wichtige Bereiche zu übersehen, wenn nur eine Kategorisierung als Grundlage eingesetzt wird.

Die Tabelle 43 stellt die Ergebnisse der Kategorisierungen gegenüber und zeigt die im Nachfolgenden diskutierte Zusammenführung.

Dabei ist jedoch Folgendes anzumerken: Obwohl die nachfolgenden Dimensionen möglichst inhaltlich trennscharf ausgestaltet wurden, existieren dennoch Abhängigkeiten und Überschneidungen untereinander. Diese sind bereits in den ursprünglichen Modellen erkennbar, wurden dort allerdings nicht weiter berücksichtigt. Auch im Rahmen der vorliegenden Arbeit wird eine derartige Darstellung nicht erfolgen, da die Ergänzung der fehlenden Informationen für eine vollständige Darstellung der Abhängigkeiten und Überschneidungen einen erheblichen Mehraufwand bedarf. Somit bleiben die Abhängigkeiten und Überschneidungen der Dimensionen weiterhin unberücksichtigt, aber bieten Potential für zukünftige Forschung und Modellweiterentwicklungen.

Aus dem Vergleich und der Zusammenführung ergeben sich daher für das zu konzipierende Modell die folgenden Gestaltungsdimensionen: *(D1) Strategic and Financial Planning, (D2) Organization and Governance, (D3) Stakeholder Management, (D4) Organizational Processes, (D5) Technology Support and Communication, (D6) Product Design, (D7) Organizational Data and Analytics.*

Digitalisierte Produkte			Zusammenführung als Dimensionen
Komponenten (Kapitel 3.3)	Herausforderungsbereiche (Kapitel 3.4)	Dimensionen der Reifegradmodelle (Kapitel 5.1.8)	
Provider	Strategie	Strategie, Finanzen, Geschäftsmodelle, Leadership	<i>Strategic and Financial Planning</i>
	-	Governance, Standards, Unternehmensmodell, Regeln, Rechte	<i>Organization and Governance</i>
	Entwicklungsprozess	Unternehmensprozesse	<i>Organizational Processes</i>
	Kooperationen -	Kollaboration Mitarbeiter	<i>Stakeholder Management</i>
Gateway	Netzwerkverbindung Kommunikation	Technologie-Support	<i>Technology Support and Communication</i>
Product	Design Hardware Funktionalität Inhalte	Produkt	<i>Product Design</i>
User	Infrastruktur Nutzung Bedürfnisse Skill Development	(Kunden-Kollaboration, Kunden-Daten, Customer-Relationship-Modelle, Kundenexperience und -zufriedenheit, Education)	Aufgeteilt auf die anderen Dimensionen
Smartness	Datensammlung Datenverarbeitung	Daten	<i>Organizational Data and Analytics</i>
Security und Privacy			
-		(Ökologische und gesellschaftliche Auswirkungen)	Aufgeteilt auf die anderen Dimensionen
Legende: - nicht enthalten, () nur vereinzelt in Modellen enthalten			

Tabelle 43: Vergleich von Kategorisierungen digitalisierter Produkte

Dimension D1: Strategic and Financial Planning

Im direkten Vergleich der verschiedenen Kategorisierungen fallen zunächst die zahlreichen Themenbereiche der Reifegradmodelle in Bezug auf die Provider-Komponente auf. Neben den bereits identifizierten Herausforderungsbereichen *Strategie*, *Entwicklungsprozess* und *Kooperationen* finden sich bei den Reifegradmodellen auch Gestaltungsbereiche wie *Governance* oder *Mitarbeiter*.

Daher ist zu überlegen, inwieweit die Themenbereiche in einer gemeinsamen oder aufgeteilt in verschiedenen Dimensionen verankert werden sollten. Hier bieten die Reifegradmodelle selbst auch keine eindeutige Lösung: So werden z. B. *Strategie* und *Leadership* in den Reifegradmodellen entweder als einzelne Dimension wie bei SCHUMACHER ET AL. (2016, S. 164) oder als kombinierte Dimension wie bei CLARKE

(2013, S. 8) verankert. Ähnlich verhält es sich z. B. mit den *Unternehmensprozessen*. SCHUMACHER ET AL. (2016, S. 164) definieren diese als eigene Dimension, während AKDIL ET AL. (2018, S. 72–73) diese mit anderen Themenbereichen kombiniert.

Die verschiedenen Kategorisierungen bzw. Reifegradmodelle unterstützen jedoch fast alle die Ausgestaltung einer strategischen Dimension für Themen der Strategieentwicklung. Die Zusammenführung mit Themen der Investitions- und Finanzierungsplanung sowie Entwicklung von Geschäftsmodellen als weitere strategische zu gestaltende Bereiche – wie durch die Reifegradmodelle vorgeschlagen – macht aufgrund der inhaltlichen Nähe Sinn.

Für das Reifegradmodell der vorliegenden Arbeit ergibt sich daher die Dimension *Strategic and Financial Planning*.

Dimension D2: Organization and Governance

Die Themen im Bereich *Unternehmensmodell, Governance, Standards* etc. finden sich nicht als eigener Themenbereich in den Komponenten bzw. der Herausforderungsanalyse wieder. Jedoch betonen die Reifegradmodelle über die Anwendungsdomänengrenzen hinweg einen solchen eigenständigen Bereich, sodass eine eigene Dimension *Organization and Governance* ausgestaltet wird.

Die Dimension umfasst demnach Gestaltungsziele, die die Gestaltung der Organisationsstruktur und Organisationskultur sowie die Entwicklung eines Governance Modells betreffen.

Dimension D3: Stakeholder Management

Während sich die Themenbereiche Strategie, Finanzen und Geschäftsmodelle der Reifegradmodelle dem Herausforderungsbereich Strategie der Komponente Provider zuordnen lassen, ist dies mit dem zugehörigen Bereich *Leadership* schwieriger. Je nach Reifegradmodell wird der Bereich mit der Strategie zusammengeführt oder getrennt davon verordnet.

Leadership (dt. Führung) lässt sich definieren als „*die menschen-, verhaltens-, eigenschafts-, interaktions- und/oder motivationsorientierten Aufgaben des Managements*“ (Lies 2018, o. S.). Es grenzt sich durch die Kombination von harten und weichen Faktoren vom klassischen Management, der konzeptionell-instrumentellen Unternehmenssteuerung bzw. transaktionale Führung, ab. Stattdessen versteht sich Leadership als transformationale Führung, die Macht als „*freiwillige Selbstbindung meint, die auf Gruppendynamik auf der Basis von Akzeptanz, Identifikation und Motivation beruht*“ (Lies 2018, o. S.).

Da es sich hierbei thematisch also um die Kompetenzen und Aufgaben des Managements und damit einer Stakeholdergruppe handelt, wird der Themenbereich mit den Themen Kollaboration und Skill Development zu einer Dimension *Stakeholder Management* zusammengeführt. Dadurch werden alle Themen im direkten Bezug zu den verschiedenen Stakeholdern digitalisierter Produkte zusammengeführt.

Kollaboration wurde in den Reifegradmodellen zwar oft als eigene Dimension definiert – z. B. die Dimension *Culture* bei SCHUMACHER ET AL. (2016, S. 164) oder *Stakeholder Engagement* bei THE SCOTTISH GOVERNMENT ET AL. (2014, S. 12) – eine Verordnung in die Dimension des Stakeholder Managements erlaubt jedoch einen Gesamtüberblick. Alle Gestaltungsziele, die die verschiedenen Stakeholdergruppen betreffen und dabei auch gruppenübergreifend sein können (z. B. die Notwendigkeit der Klärung von Rollen, Eigentümerschaft und Urheberrecht) werden so in einem Bereich thematisch zusammengeführt.

Explizit in den Reifegradmodellen enthalten ist der Bereich der Mitarbeiter (*Employees*), z. B. im Modell von SCHUMACHER ET AL. (2016, S. 163–164) sogar als eigene Dimension *People*. Dabei handelt es sich allerdings meist um die Ausgestaltung und Entwicklung der Mitarbeiterkompetenzen, also dem *Skill Development*. Andere Aspekte wie die Zusammenarbeit sind bereits im Rahmen der Kollaboration mitabgedeckt, sodass auch keine eigene Dimension Mitarbeiter notwendig ist, sondern die Aspekte in der Dimension Stakeholder Management abgedeckt sind.

Skill Development stellt einen Herausforderungsbereich der Komponente User dar. Die Nutzer stellen eine zentrale Komponente digitalisierter Produkte im Besonderen und für Informationssysteme aus Wirtschaftsinformatik-Perspektive im Allgemeinen dar (siehe Kapitel 3.2) dar. In den Reifegradmodellen wurden allerdings vorwiegend Nutzerthemen wie *Kundendaten* oder *Kollaborationsmöglichkeiten* berücksichtigt und in verschiedenen Dimensionen verordnet (siehe hierzu auch die Ausführungen in Kapitel 5.1.8).

Auch die in der Herausforderungs-Analyse identifizierten Themen in Bezug auf die *Nutzung* (z. B. notwendige Infrastruktur, fehlende Skills), die *Kundenbedürfnisse* (z. B. Selbstwahrnehmung, Erwartungen, Zahlungsbereitschaft) und anderen *Gestaltungsaspekte* (z. B. User Experience, Interaktionsgestaltung) lassen sich auf die verschiedenen Dimensionen des Reifegradmodells dieser Arbeit aufteilen. So kann z. B. die notwendige Nutzer-Infrastruktur in die Technologie-Dimension oder die Identifizierung und Berücksichtigung von Kundenbedürfnissen in die Produktgestaltung eingeordnet werden.

Daher wird sich hier dem Vorgehen der Reifegradmodelle angeschlossen und keine eigene Nutzer-Dimension ausgestaltet. Anzumerken hierbei ist allerdings, dass der Fokus auf die Nutzer dadurch nicht vernachlässigt werden darf, wie die Kritik an den bisherigen Reifegradmodellen zeigt (siehe Kapitel 5.1).

Dimension D4: Organizational Processes

Eingangs wurde bereits exemplarisch anhand der Unternehmensprozesse gezeigt, dass diese als eigene Dimension oder als mit anderen Themenbereichen kombinierte Dimension in den Reifegradmodellen verankert wurden (mit Ausnahme der Smart-City-Modelle). Im Rahmen der Herausforderungsanalyse ergab sich dabei nur der Entwicklungsprozess als eigener Themenbereich der Provider-Komponente.

Aus Wirtschaftsinformatik-Perspektive macht allerdings eine eigene Dimension *Organizational Processes*, die alle Gestaltungsziele, die im direkten Zusammenhang mit den Unternehmensprozessen stehen, Sinn, da diese klassischer Weise neben der Strategie und der IT als eigener Bereich betrachtet werden.

Dimension D5: Technology Support and Communication

Alle betrachteten Reifegradmodelle mit Ausnahme des Modells von AKDIL ET AL. (2018, S. 71), bei dem die Inhalte in der Smart-Products-und-Services-Dimension enthalten sind, weisen eine eigene, explizite Dimension *Technology* aus. Auch im Rahmen der Komponenten- und Herausforderungsanalyse ließ sich ein eigener Bereich um die Themeninhalte Netzwerkverbindung und Kommunikation identifizieren. Daher empfiehlt sich eine Ausgestaltung des Themenbereichs als eigene Dimension *Technology Support and Communication*.

Dimension D6: Product Design

Trotz eines Themenbereichs *Product* in beiden Kategorisierungen ist dieser Bereich im Rahmen der Reifegradmodelle weniger detailliert ausgestaltet. Im Vergleich dazu konnten im Rahmen der Herausforderungsanalyse zahlreiche Themenbereiche identifiziert werden, z. B. bezogen auf das Produkt-Design, die Funktionalität oder die Gestaltung der Produkthinhalte. Daher wird für das Reifegradmodell der vorliegenden Arbeit, dem DPMM, eine eigenständige Dimension *Product Design* festgelegt.

Dimension D7: Organizational Data and Analytics

Der Bereich *Smartness/Data* wurde in den Reifegradmodellen sowohl als eigene Dimension wie bei CLARKE (2013, S. 8) und THE SCOTTISH GOVERNMENT ET AL. (2014,

S. 12) als auch innerhalb anderer Dimensionen verordnet, z. B. in der Produktdimension (Akdil et al. 2018, S. 71) oder in der Kundendimension (SGMM Team 2011, S. 42). Auch im Rahmen der Komponenten bzw. Herausforderungsanalyse wurden die Aspekte der Datensammlung und -analyse als eigener Bereich ausdifferenziert. Es empfiehlt sich somit aufgrund des thematischen Umfangs und zur Reduzierung von doppelten Inhalten in verschiedenen Dimensionen die Ausgestaltung als eigene Dimension, jedoch in Kombination mit Sicherheit und Privatsphäre.

Sicherheit und Privatsphäre wurden im Rahmen der Herausforderungsanalyse als zentrale, übergreifende Themen identifiziert und in der Tabelle dem Bereich Daten zugeordnet. In den Reifegradmodellen wurden die beiden Themenbereiche zuweilen auch anderen Dimensionen zugeordnet, z. B. der Kundendimension (SGMM Team 2011, S. 41–44) oder der Prozessdimension (Akdil et al. 2018, S. 72–73). Dies bestätigt allerdings erneut den übergreifenden Charakter der beiden Themenbereiche. Dabei liegt der Fokus immer auf dem Schutz von Daten. Die Themenbereiche *Daten* und *Sicherheit/Privatsphäre* sind somit eng miteinander verknüpft, sodass sich eine gemeinsame Betrachtung im Rahmen einer gemeinsamen Gestaltungsdimension *Organizational Data and Analytics* empfiehlt.

Andere Aspekte: ökologische und gesellschaftliche Auswirkungen

Nicht durch die Komponenten-Analyse oder durch die Herausforderungsbereiche identifiziert wurden Aspekte, die sich dem Themenbereich der ökologischen und gesellschaftlichen Auswirkungen zuordnen lassen würden. Auch die Reifegradmodelle selbst liefern hierzu kaum Inhalte und nur ein Modell – das SGMM – hat dies als eigenen Themenbereich spezifiziert.

Inhalte dieser Themenbereiche werden daher aufgrund ihrer geringen Menge im Rahmen des Modells dieser Arbeit auf die anderen Dimensionen aufgeteilt. Die Entwicklung einer *Organizational Environmental Compliance* kann z. B. der Dimension *Organization and Governance* zugeordnet werden oder der Dimension *Strategic and Financial Planning*. Die genaue Zuordnung wird im Laufe der Detailausgestaltung festgelegt.

5.2.4 Parameter der Reifebewertung

Für die praktische Anwendung des Modells und damit die deskriptive Zuordnung von Unternehmen bzw. Produkten in das zu konzipierende Modell – das sogenannte *Assessment* (dt. Reifebewertung) – ist es notwendig a priori verschiedene Reifegradmodell-Gestaltungsparameter festzulegen. Diese haben ebenfalls Einfluss auf die strukturelle und inhaltliche Ausgestaltung des Modells (vgl. hierzu die Parameter der Reifegradmodellentwicklung in Kapitel 4.4.2).

So ist es notwendig, einerseits die *Anwendungsmethode* für das Assessment (z. B. eigene Einordnung oder Einordnung durch Dritte) und andererseits den Personenkreis der zukünftig *Auskunft-gebenden*, die die notwendigen Informationen für die Reifebewertung bereitstellen (z. B. das Management, Geschäftspartner, Mitarbeiter), zu bestimmen. Darüber hinaus müssen auch die *Treiber* der Anwendung und die *Granularität* bei der Reifebewertung festgelegt werden (de Bruin et al. 2005, o. S.; Mettler 2009, o. S.; 2010, S. 82–83).

Bei der Wahl der Assessment-Methode müssen vorhandene *Ressourcen* zur Durchführung der gewählten Methode und die *angestrebte Generalisierbarkeit* des Modells berücksichtigt werden. Wer das Modell wie einsetzen kann, hat Einfluss auf die zukünftige globale Akzeptanz und Möglichkeit der Standardisierung. Daher sollte langfristig angestrebt werden, dass das Modell nicht nur von den an der Entwicklung und Test beteiligten Stakeholdern, sondern auch von Entitäten, die nicht an diesem Prozess beteiligt waren, angewendet wird bzw. werden kann (de Bruin et al. 2005, o. S.).

Es lassen sich hierbei anhand von Kosten, Tiefe bzw. Breite drei Ausgestaltungsformen des Reifegrad-Assessments identifizieren (Winter und Mettler 2016, S. 178–180; SCAMPI Upgrade Team 2011):

1. Die *Klasse-C-Methoden* werden in der Regel von nur einer Person (meist eigenständig als Self-Assessment) im Rahmen einer punktuellen Begutachtung eines spezifischen Problembereichs durchgeführt. Die Methoden sind dadurch kostengünstig bzw. ressourcensparend. Sie stellen damit die einfachste Reifebewertung dar, allerdings ist die Aussagekraft und Detailgrad der Daten eher als gering einzustufen.
2. Die *Klasse-B-Methoden* werden von mehreren Personen über einen längeren Zeitraum (Tage bis Wochen) für bestimmte Problemlösungsbereiche durchgeführt. Es findet dabei meist eine Begleitung durch externe Berater statt. Die Komplexität der Methoden ist demnach höher als bei Klasse-C-Methoden, erlauben dadurch aber auch einen tieferen Unternehmenseinblick. Im Fokus stehen allerdings auch hier nicht die „komplette Befragung einer Organisationseinheit oder weiterer Teile des Unternehmens“ (Winter und Mettler 2016, S. 178).
3. Die *Klasse-A-Methoden* werden durch neutrale Beobachter-Teams (mindestens vier Personen) durchgeführt, die als Projekt-Teams im Unternehmen eingebunden werden. Die Begutachtung findet über einen längeren Zeitspanne oft als Grundlage für eine Zertifizierung des Unternehmens statt. Es handelt sich daher um die aufwändigste Begutachtung mit den höchsten Kosten.

Die *Granularität* der Reifebewertung hängt wiederum von der Komplexität der Domäne ab und hat Einfluss auf eine nachgelagerte Verbesserungsstrategie (de Bruin et al. 2005, o. S.; Röglinger et al. 2012, S. 332): Auf niedrigem Granularitätsniveau wird die Gesamtreife durch Vergleich der Reifegrade bestimmt und damit, z. B. auf Unternehmensebene, zur Kommunikation mit externen Stakeholdern eingesetzt. Ein hohes Granularitätsniveau ermöglicht differenzierte Reifeprofile innerhalb komplexer Domänen. Dabei werden verschiedene Reifebewertungen auf unterschiedlichen Ebenen durchgeführt, ebenso wie eine Gesamtreifebewertung. Dadurch kann mehr Tiefenwissen über Stärken und Schwächen erlangt und damit differenzierte Verbesserungen durchgeführt werden.

Hierfür sind auch vorab definierte *Assessment-Kriterien* für jeden Reifegrad und jeder Granularitätsebene notwendig (Gottschalk 2009, S. 77–80; Mettler und Rohner 2009, o. S.; Pöppelbuß und Röglinger 2011, o. S.; Maier et al. 2012, S. 152; Röglinger et al. 2012, S. 332): Bei multidimensionalen Ansätzen können die Dimensionen zur Ableitung und Strukturierung der Kriterien herangezogen werden. Grundsätzlich ist dabei zu beachten, dass die Kriterien klar voneinander abgegrenzt und knapp und präzise formuliert sind. Dies gilt auch für die *Assessment-Methodologie*. Ein *Assessment-Vorgehensmodell* – wie das Assessment durchzuführen ist – kann hierfür unterstützend und ergänzend zu den Kriterien definiert werden, ebenso wie *Hilfestellungen* für das etwaig notwendige Anpassen der Kriterien an verschiedene situative Gegebenheiten.

Das Modell der vorliegenden Arbeit, das DPMM, tangiert inhaltlich verschiedene Unternehmensbereiche und -ebenen, sodass multiple Auskunft-gebende Personen notwendig sein werden, um eine entsprechende Reifebewertung zu ermöglichen. Obwohl dies zunächst für eine Klasse-C-Methode und damit die Durchführung durch ein neutrales bzw. externes Berater-Team spricht, wird dennoch für die schnelle Einsatzfähigkeit zunächst ein Self-Assessment des Unternehmens favorisiert.

Aufgrund der Multidimensionalität des DPMM erfolgt die Reifebewertung im Rahmen des Self-Assessments in Anlehnung an das Konzept der Umsetzungsgrade von ALTUNTAS UND UHL (2015, S. 154–171). Durch die Nutzung von Umsetzungsgraden, Gestaltungsbereichen und Gestaltungszielen, die als Assessment-Kriterien fungieren, kann ein hohes Granularitätsniveau der Reifebewertung erzielt werden. Die Gestaltungsbereiche, Gestaltungsziele und Umsetzungsgrade stellen ergänzende Architekturkomponenten dar (vgl. Kapitel 4.3.2), die aufgrund des vorgesehenen Ansatzes (vgl. Kapitel 5.2.2) und des Bewertungskonzepts des Modells

der vorliegenden Arbeit notwendig sind. Sie orientieren sich dabei an den Prozessgebieten, Fähigkeitsgraden und das Zielsystem des CMM(I) (vgl. Kapitel 4.3.4) (Altuntas und Uhl 2015, S. 154–171).

Die *Gestaltungsbereiche* stellen dabei Unterkategorien bzw. Unterbereiche der Gestaltungsdimensionen dar und differenzieren diese aus, indem sie die Gestaltungsziele thematisch inhaltlich bündeln. Dadurch kann die Gesamtkomplexität verringert werden und eine Übersicht über die Themenbereiche der Gestaltungsdimensionen geschaffen werden. Sie ähneln damit den Prozessgebieten des CMMI 1.3 (CMMI Product Team 2011, S. 22) und den Industrialisierungsgebieten von ALTUNTAS UND UHL (2015, S. 150–151).

Die *Gestaltungsziele* wiederum können dabei als Merkmale oder Maßnahmen verstanden werden, die vorhanden sein müssen, um einen Gestaltungsbereich zu erfüllen bzw. die für die Umsetzung des Gestaltungsbereichs notwendig sind. Sie entsprechen daher den Industrialisierungsaspekten von ALTUNTAS UND UHL (2015, S. 158) und ähneln damit den spezifischen Zielen des CMMI 1.3 (CMMI Product Team 2011, S. 24). Sie stellen dabei das *Was*, aber nicht das *Wie* dar, und geben damit eine Richtung vor, weshalb sie als Ziele bezeichnet werden und nicht als Aspekte, Merkmale, Kriterien oder Maßnahmen.

Die konkreten Gestaltungsbereiche und -ziele des Modells der vorliegenden Arbeit werden auf Basis der in Kapitel 5.1.8 ausgewählten Reifegradmodelle im Rahmen des feinen Modellkonzepts in Kapitel 6 abgeleitet und festgelegt.

Um die Gestaltungsziele als Bewertungsinstrument einsetzen zu können, werden analog zu ALTUNTAS UND UHL (2015, S. 154) die *Umsetzungsgrade* eingeführt, die sich an den Fähigkeitsgraden des CMMI orientieren. Im CMMI 1.3 werden neben den Reifegraden die Fähigkeitsgrade (*Capability Levels*) zur Definition der inkrementellen Prozessverbesserung (*Reife*) eines Prozessgebiets definiert. Diese orientieren sich dabei an den definierten Verbesserungszielen (vgl. Kapitel 4.3.4). Da es sich bei dem zu konzipierenden Modell um ein Modell mit objektorientierten Reifekonzept handelt (vgl. Kapitel 5.2.2), können die vom CMMI bekannten Fähigkeitsgrade mit Fokus auf Prozessverbesserung nicht konfliktfrei übernommen werden.

Stattdessen wird sich daher an den allgemeiner formulierten Umsetzungsgraden von ALTUNTAS UND UHL (2015, S. 154–156) orientiert und diese für das zu konzipierende Modell übertragen: Die Umsetzungsgrade dienen dabei zur Definition der inkrementellen Objektverbesserung und stellen damit Regeln zur Bestimmung des Reifegrads eines Unternehmens bzw. zur Messung der Objektreife dar. Die Graderreichung orientiert sich dabei an der Erfüllung der Gestaltungsziele. Die Autoren

sehen dabei eine Differenzierung in vier Grade vor: *Nicht umgesetzt*, *Basis*, *Fortgeschritten* und *Exzellent* (siehe Tabelle 44).

Umsetzungsgrad	Beschreibung
Nicht umgesetzt	Den Grad weist eine Bereich auf, wenn bislang keine der definierten Ziele umgesetzt wurden.
Basis	Den Grad weist eine Bereich auf, wenn bis zu fünfzig Prozent der Ziele umgesetzt wurden
Fortgeschritten	Den Grad weist eine Bereich auf, wenn mehr als die Hälfte der Ziele umgesetzt wurden.
Exzellent	Den Grad weist eine Bereich auf, wenn alle Ziele vollständig umgesetzt wurden und eine zusätzliche, kontinuierliche Aktualisierung und Verbesserung der Inhalte der Dimension erfolgt.

Tabelle 44: Umsetzungsgrade des DPMM

Quelle: in Anlehnung an ALTUNTAS UND UHL (2015, S. 154)

Die Grade stehen dabei in einer prozentuellen Abhängigkeit der Gestaltungszielerfüllung und bieten einen gewissen Spielraum. Sollte ein Unternehmen z. B. nicht fähig sein, ein spezifisches Gestaltungsziel umsetzen zu können, erlauben die durch die Prozentangaben definierten Gestaltungsziele einen Spielraum für die Einstufung. Dadurch wird ebenfalls die Anwendung des Modells in verschiedenen Anwendungsdomänen erleichtert.

Um eine Einordnung bzw. Messung des Unternehmens vornehmen zu können, wird bei der Entwicklung des Reifegradmodells jedem Reifegrad für jeden Gestaltungsbereich ein geforderter Soll-Wert der Umsetzung (Umsetzungsgrad) zugewiesen. Abbildung 20 illustriert beispielhaft eine solche Soll-Werte-Zuordnung je Gestaltungsbereich und Reifegrad.

Die Umsetzungsgrade/Reifestufen sind aufeinander aufbauend, daher muss der Umsetzungsgrad einer Reifestufe mindestens dem Umsetzungsgrad der vorangegangenen Reifestufe entsprechen. Der Gestaltungsbereich 2.2. in der Abbildung illustriert diesen stufenweisen Aufbau. Allerdings können Umsetzungsgrade übersprungen werden, wie der Gestaltungsbereich 1.1. in der Abbildung zeigt. Der Reifegrad 1 weist hier den Umsetzungsgrad *Nicht umgesetzt* auf, während der Reifegrad 2 die Umsetzungsgrade *Basis* und *Fortgeschritten* überspringt und direkt den Umsetzungsgrad *Exzellent* ausweist (Altuntas und Uhl 2015, S. 154–156).

Die Einordnung des Unternehmens erfolgt schließlich durch einen Vergleich der tatsächlich durch das Unternehmen erreichten Umsetzungsgrade aller Gestaltungsbereiche (Ist-Werte) mit den durch das Modell vorgegebenen Umsetzungsgraden für den jeweiligen Gestaltungsbereich (Soll-Werte). Der abschließende Ist-Reifegrad eines Unternehmens ergibt sich dann aus dem höchsten Reifegrad, de-

ren geforderte Soll-Umsetzungsgrade aller Gestaltungsbereiche erfüllt sind (Altuntas und Uhl 2015, S. 155–156). So müssen beispielsweise in der Zuordnung von Abbildung 20 zur Erreichung des Reifegrades 5 alle Gestaltungsbereiche den Umsetzungsgrad *Exzellent* aufweisen.

	Reifegrad 1	Reifegrad 2	Reifegrad 3	Reifegrad 4	Reifegrad 5
Gestaltungsdimension 1					
Gestaltungsbereich 1.1.	Nicht umgesetzt	Exzellent	Exzellent	Exzellent	Exzellent
Gestaltungsbereich 1.2.	Basis	Basis	Fortgeschritten	Fortgeschritten	Exzellent
Gestaltungsdimension 2					
Gestaltungsbereich 2.1.	Nicht umgesetzt	Basis	Basis	Exzellent	Exzellent
Gestaltungsbereich 2.2.	Nicht umgesetzt	Nicht umgesetzt	Basis	Fortgeschritten	Exzellent
...					

Abbildung 20: Beispiel für Soll-Werte der Umsetzungsgrade

Quelle: ALTUNTAS UND UHL (2015, S. 155)

Abbildung 21 wiederum zeigt beispielhaft einen Soll-Ist-Vergleich eines Unternehmens und damit die Reifeinordnung des Unternehmens: Das Unternehmen erreicht hierbei nur den ersten Reifegrad, da der Gestaltungsbereich 1.1. erst den Umsetzungsgrad Basis und damit den ersten Reifegrad erreicht hat. Für eine höhere Einordnung müsste das Unternehmen eine exzellente Ist-Umsetzung aufweisen, da diese ab zweiten Reifegrad gefordert ist (Altuntas und Uhl 2015, S. 155–156).

	Reifegrad 1	Reifegrad 2	Reifegrad 3	Reifegrad 4	Reifegrad 5
Gestaltungsdimension 1					
Gestaltungsbereich 1.1.	Nicht umgesetzt	Exzellent	Exzellent	Exzellent	Exzellent
Gestaltungsbereich 1.2.	Basis	Basis	Fortgeschritten	Fortgeschritten	Exzellent
Gestaltungsdimension 2					
Gestaltungsbereich 2.1.	Nicht umgesetzt	Basis	Basis	Exzellent	Exzellent
Gestaltungsbereich 2.2.	Nicht umgesetzt	Nicht umgesetzt	Basis	Fortgeschritten	Exzellent
...					

Ist-Umsetzung: 

Abbildung 21: Beispiel Soll-Ist-Vergleich der Umsetzungsgrade

Quelle: ALTUNTAS UND UHL (2015, S. 156)

Durch die Umsetzungsgrade wird dementsprechend den Modell-Anwendern ein Messinstrument geboten, das die Unternehmenseinordnung im Rahmen eines Assessments ermöglicht. Dadurch können auch deskriptive Reifegradmodellkonstruktionen in einer noch nicht weit entwickelten Domäne vorgenommen werden, ohne zu große Lücken aufzuweisen aufgrund fehlenden Quellmaterials.

Die tatsächliche Zuordnung der Umsetzungsgrade zu den jeweiligen Gestaltungsbereichen und Reifegraden für das Modell der vorliegenden Arbeit, das DPMM, findet im Rahmen des feinen Modellkonzepts in Kapitel 6 statt.

Im Rahmen des CMMI 1.3 wurden darüber hinaus für die konkrete Umsetzung noch sogenannte *Praktiken* und *Subpraktiken* definiert, die die Aktivitäten und Anleitungen für die Umsetzung darstellen (CMMI Product Team 2011, S. 25–26). ALTUNTAS UND UHL (2015) definierten dagegen keine weiteren Komponenten. Auch das in dieser Arbeit konzipierte Modell wird keine weiteren Architekturkomponenten ausgestalten. Aktivitäten, Anleitungen und Best Practices werden daher nur nach Notwendigkeit ergänzend beschrieben und liegen ansonsten außerhalb der Möglichkeiten der vorliegenden Arbeit.

5.2.5 Planung der Modellausgestaltung im Rahmen des feinen Modellkonzepts

In Kapitel 4.4.1 wurden bereits die beiden bekannten Vorgehensansätze zur Gestaltung von Reifegradmodellen vorgestellt.

DE BRUIN ET AL. (2005, o. S.) schlagen für die inhaltliche Modellausgestaltung nur eine grobe Phase *Populate* vor und beschreiben ergänzend dazu verschiedene Forschungsmethoden zur Quellengewinnung.

BECKER ET AL. (2009, S. 254–255) sind hier differenzierter und schlagen ein iteratives Vorgehen mit mehrfacher Wiederholung vor: *Modellbereich (Architektur oder Dimension) festlegen* → *Vorgehen wählen* → *Modellbereich gestalten* → *Ergebnis prüfen*. Für die konkrete Anwendung des Vorgehens lassen die Autoren jedoch unbeantwortet, wie im Detail bei der Modellbereichswahl vorgegangen werden soll. Denkbar für z. B. rasterbasierte Reifegradmodelle ist

- ein *zeilenweises Vorgehen* (Dimension auswählen und für alle Reifegrade-übergreifend bzw. gleichzeitig ausgestalten),
- ein *zellenweises Vorgehen* (einzelne Ausgestaltung jeder Dimension für jeden Reifegrad) oder
- ein *spaltenweises Vorgehen* (Ausgestaltung aller Dimensionen für einen Reifegrad gleichzeitig).

Dabei suggeriert z. B. die schematische Darstellung einer generischen Reifegradmodellstruktur (siehe Abbildung 16) von LASRADO ET AL. (2015, o. S.) eine zellenweise Ausgestaltung. In ihrem Beispiel-Modell haben BECKER ET AL. (2009, S. 257–258) wiederum das zeilenweise Vorgehen durchgeführt.

Für die Zellen-Ausgestaltung von rasterbasierten Reifegradmodellen (siehe Basistypen Reifegradmodelle in Kapitel 4.3.3) weisen MAIER ET AL. (2012, S. 150–151)

darauf hin, dass die Aktivitäts-Beschreibungen in den Zellen grundsätzlich präzise, bündig und klar formuliert sein sollten und dass diese abhängig davon sind, ob

1. das Modell deskriptiv oder präskriptiv ist,
2. welche Informationsquelle gewählt wurde und
3. auf welchen Formulierungsmechanismen diese basieren.

So müssen beispielsweise die detaillierten Aktionsbeschreibungen präskriptiver Modelle gegebenenfalls öfter auf den aktuellen Stand gebracht werden (*Maintenance*). Dies ist für technische Beschreibungen oft einfacher als für Beschreibungen sozialer Komponenten (Maier et al. 2012, S. 150–151).

In Bezug auf die Informationsquelle hängt es davon ab, ob verschiedene Gesichtspunkte der späteren Assessment-Empfänger zusammengeführt oder vorhandene Organisationspraktiken überprüft und verglichen werden sollen (Maier et al. 2012, S. 150–151).

Darüber hinaus weisen MAIER ET AL. (2012, S. 150–151) daraufhin, dass es möglich ist, zunächst die Extrema zu identifizieren und zu beschreiben und dann alle Zwischencharakteristiken der verschiedenen Reifegrade abzuleiten. Alternativ können für jede Zelle einzeln auf Basis der zugrundeliegenden Rationale diese abgeleitet werden.

Verschiedene Aspekte (z. B. Reifegradmodelltyp, Verfügbarkeit und Art der Informationen, geplante Wartung und Weiterentwicklung) haben demnach Einfluss auf das Vorgehen der inhaltlichen Modell-Ausgestaltung. Die bisherigen Vorgehensmodelle reichen jedoch keine Entscheidungskriterien oder Empfehlungen für die verschiedenen Parameter und das Vorgehen bei, sodass die Einschätzung für die passende Ausprägung allein beim Modellierer, seinem Können und Wissen liegt. Dementsprechend findet sich hier Potential für die Verbesserung der Reifegradmodellierung (z. B. Entscheidungskriterien, Auswahloptionen oder Empfehlungen).

Für diese Arbeit werden die Inhalte der in Kapitel 5.1.8 ermittelten Reifegradmodelle verschiedener Domänen digitalisierter Produkte zusammengeführt. Zunächst werden dafür die Inhalte der verschiedenen Modelle als Gestaltungsziele extrahiert und konsolidiert. Durch eine Muster-Analyse der Gestaltungsziele werden die Gestaltungsbereiche identifiziert und den entsprechenden Gestaltungsdimensionen zugeordnet. Die Ergebnisse werden je Gestaltungsbereich präsentiert und diskutiert. Im Anschluss erfolgt die Zuordnung der Umsetzungsgrade in Abhängigkeit zu den Reifegraden. Das Zuweisen der Umsetzungsgrade nach ALTUNTAS UND UHL

(2015, S. 154–156) sieht vor, dass der optimale Zustand für eine Dimension definiert wird und dann durch die Umsetzungsgrade bestimmt wird, in welchem Reifegrad wie viel Prozent davon umgesetzt sein sollte.

Die detaillierte Beschreibung der methodischer Vorgehensweise zur Identifizierung der Gestaltungsbereiche und -ziele für die Gestaltungsdimensionen findet sich in Kapitel 6.1 des feinen Reifegradmodellkonzeptes.

5.2.6 Parameter der Evaluation und Evolution des Modells

Bereits im Rahmen der Vorstellung der Gestaltungsparameter für die Reifegradmodellentwicklung wurden seitens der Literatur verschiedene Parameter vorgeschlagen, die die Evaluation und die Evolution von Reifegradmodelle betreffen (siehe Kapitel 4.4.2). Diese gilt es im Folgenden näher auszugestalten.

In diesem Kapitel werden allerdings in erster Linie die Parameter der Evaluation vorgestellt und nur eine erste Teilabgrenzung vorgenommen. Eine ausführliche Diskussion, Planung und Teildurchführung einer langfristigen Evaluationsstrategie und damit auch die Ausgestaltung der Evaluationsparameter findet aufgrund des Umfangs im dafür eigens vorgesehenem Kapitel 7 statt. Eine kurze Zusammenfassung des Ergebnisses dieser Planung findet sich allerdings inkludiert in diesem Kapitel.

Für die Evaluation eines Reifegradmodells empfehlen DE BRUIN ET AL. (2005, o. S.) sowohl die Prüfung des Modellkonstrukts als auch dessen Assessment-Instrumente: Das Modellkonstrukt sollte dabei hinsichtlich der *Face Validity* (etwa: korrekte Übersetzung der Konstrukte) und der *Content Validity* (etwa: Vollständigkeit der Domänenrepräsentation) evaluiert werden. Eine höhere Face Validity kann z. B. durch komplementäre Methoden zur Befüllung des Modells erzielt werden. Die Content Validity wiederum kann durch den Umfang der dem Modell zugrundeliegenden Literaturrecherche(en) und durch die Breite der Domänenabdeckung beeinflusst werden. Die sich aus Face Validity und Content Validity ergebende *Construct Validity* ist dabei als kritisch für die Sicherstellung der soliden theoretischen Modellbasis anzusehen.

Ebenso zu überprüfen sind nach DE BRUIN ET AL. (2005, o. S.) die Assessment-Instrumente hinsichtlich *Validity* (etwa: Sicherstellung, dass gemessen wird, was gemessen werden soll) und *Reliability* (etwa: Sicherstellung, dass die erhaltenen Ergebnisse akkurat und wiederholbar sind). Die Autoren schlagen zwar verschiedene Methoden für die Evaluation vor (siehe Tabelle 31 in Kapitel 4.4.1), betonen aber auch, dass sich die Evaluation zwischen Modellen unterscheiden kann.

Darüber hinaus schlägt METTLER (2010, S. 82–84) basierend auf PRIES-HEJE ET AL. (2008) und VENABLE (2006) für das Evaluationsdesign drei ergänzende Parameter vor: Subject of Evaluation, Time of Evaluation und Evaluation Methods.

Demzufolge muss zunächst einmal der Gegenstand der Evaluation (*Subject of Evaluation*) festgelegt werden. Anders als bei DE BRUIN ET AL. (2005, o. S.) wird hier nicht nur das Modell selbst, das *Design Product*, sondern auch der *Design Process* (dt. Modellkonstruktionsprozess) als Auswahlparameter für eine Evaluation vorgesehen. Um Rigor des Modells zu erzielen wird empfohlen, beides zu evaluieren (Mettler 2010, S. 82–84).

Als weiterer Parameter wird der Zeitpunkt der Evaluation (*Time of Evaluation*) angeführt. Hierfür existieren die beiden Ausprägungen *ex ante* und *ex post*. Es sei jedoch darauf hingewiesen, dass unterschiedliche Verständnisse in Bezug auf den mit *ex ante* und *ex post* referenzierten tatsächlichen Zeitpunkt der Evaluation in Abhängigkeit des zugrunde liegenden Artefakts (Modell, System, etc.) existieren (Pries-Heje et al. 2008, o. S.). METTLER (2010) selbst gibt keine nähere Beschreibung der beiden Parameterausprägungen. PRIES-HEJE ET AL. (2008, o. J.) konstatieren für die Design Science Research (im Unterschied zur Information Systems im Allgemeinen), dass die *ex-ante*-Evaluation vor der Artefakt-Konstruktion und die *ex-post*-Evaluation nach der Artefakt-Konstruktion stattfindet. Je nach Artefakt kann mit *ex post* auch erst nach der Implementierung bzw. operativen Einführung gemeint sein.

In einer späteren Publikation weisen VENABLE ET AL. (2016, S. 79) auch auf die Möglichkeit einer *intermediären* Evaluation zwischen den beiden Ausprägungen für die Design Science hin. Ergänzend hierzu schlagen auch BECKER ET AL. (2009, S. 255) für die Reifegradmodellierung im Speziellen eine Prüfung auf Vollständigkeit, Konsistenz und Problemadäquanz für jeden Modellbereich nach dessen Fertigstellung vor und damit die angesprochene intermediäre Prüfung während der Modellentwicklung als Ergänzung zu einer Evaluation des Gesamtmodells hinsichtlich dessen Nutzen vor.

Der Evaluations-Zeitpunkt, die Neuartigkeit des Themas und die zur Verfügung stehenden Ressourcen haben dabei Einfluss auf die Einsatzfähigkeit der zu wählenden Evaluationsmethoden (*Evaluation Methods*), dem dritten Parameter nach METTLER (2010, S. 82–84). Zur Auswahl stehen hierfür künstliche Methoden (z. B. Laborexperimente, Simulationen) oder naturalistische Methoden (z. B. Fallstudien, Fokusgruppen) zur Verfügung. Dabei erlaubt der Ansatz von METTLER (2010, S. 82)

auch die Möglichkeit der Kombination der verschiedenen Methoden-Ausprägungen, da die Parameterausprägungen hier nicht als sich gegenseitig ausschließend verstanden werden.

Aus Sicht bzw. Veröffentlichungen der Design Science Research lassen sich darüber hinaus weitere Evaluationsparameter ableiten, die bisher nicht Bestandteil der für die Reifegradmodell vorgeschlagenen Parameter darstellen. Gleichzeitig stellen sie aber eine wertvolle Unterstützung für die Abgrenzung der Evaluation dar. Demzufolge lassen sich die folgenden Parameter ergänzen (Cleven et al. 2009, o. S.):

- die Art des *Evaluationsansatz*,
- der *Artefakt-Fokus* bzw. der intendierte Kontexteinsatz,
- dem *Artefakttyp* (siehe auch Kapitel 1.4),
- die zugrundeliegenden *Epistemologie*,
- die *Funktion der Evaluation*,
- die *Ontologie*,
- die bei der Evaluation eingenommenen *Perspektive*,
- die *Position der evaluierenden Personen* und
- der *Referenzpunkt* der Evaluation.

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit werden jedoch die epistemologische und ontologische Einordnung aufgrund ihres philosophischen Charakters und des damit notwendigen Diskurses sowie den zur Verfügung stehenden Ressourcen vernachlässigt.

In Bezug auf den Artefakt-Typ von Reifegradmodellen muss festgestellt werden, dass Reifegradmodelle in Teilen sowohl Modelle als auch Methoden darstellen. Sie verstehen sich damit als *in-between-Artefakte* (Mettler 2009, o. S.). Reifegradmodelle stellen Modelle dar, da die Beziehungen von Konstrukten durch Abstraktion von der Realität expliziert wird. Dadurch wird eine Repräsentation eines identifizierten Problems und einer zukünftiger Lösungen dargestellt (*Was*). Reifegradmodelle stellen allerdings auch Methoden dar, da sie die Vorgehensweisen zur zukünftigen Lösung eines Problems repräsentieren (*Wie*) (Cleven et al. 2009, o. S.; March und Smith 1995, S. 253–254; Mettler 2009, o. S.).

Hier zeigt sich auch schon ein zentrales Problem der Reifegradmodellevaluation, das in Kapitel 7 noch näher erläutert wird, und sich bereits durch die Notwendigkeit einer intermediären Evaluation und einer abschließenden Evaluation bei BECKER ET AL. (2009, S. 255) angedeutet hat: die Notwendigkeit der multiplen Evaluationen des Modells zur Abdeckung aller notwendigen zu evaluierenden Bereiche.

In Tabelle 45 findet sich eine Übersicht über alle Parameter und ihre Ausprägungen.

Parameter	Ausprägungen				
	Konstrukt	Modell	Methode	Instanziierung	Theorie
Artefakt-Typ	Modellkonstrukt (Face & Content Validity)		Assessment-Instrumente (Validity, Reliability)		Design Prozess
Gegenstand der Evaluation	Technisch		Unternehmerisch		Strategisch
Artefakt-Fokus	Ex ante (vor der Entwicklung)		Ex post (nach Einführung)		Intermediär
Zeitpunkt der Evaluation	Erkenntnis	Kontrolle		Entwicklung	Legitimierung
Funktion der Evaluation	Künstliche Methoden			Naturalistische Methoden	
Evaluationsmethode	Formative Evaluation			Summative Evaluation	
Grund der Evaluation	Qualitativ (Value Basis)			Quantitativ (Numerical Basis)	
Evaluationsansatz	Ökonomisch	Deployment	Engineering	Epistemologisch	
Perspektive	Extern			Intern	
Position	Artefakt gegen Forschungslücke		Artefakt gegen reale Welt		Forschungslücke gegen reale Welt
Referenzpunkt	Realismus			Nominalismus	
Ontologie	Positivismus			Interpretivismus	
Epistemologie					

Tabelle 45: Parameter der Reifegradmodellevaluation

Quelle: in Anlehnung an DE BRUIN ET AL. (2005, o. S.), VENABLE (2006), PRIES-HEJE ET AL. (2008, o. S.), BECKER ET AL. (2009, S. 255), CLEVEN ET AL. (2009, o. S.), METTLER (2010, S. 82), VENABLE ET AL. (2016, S. 78–82)

Auch wenn die Parameter die Eingrenzung der Evaluation unterstützen, fehlen entsprechende Hilfen für die Auswahl und geeignete Kombination der entsprechenden Parameter. Daher werden zur Festlegung der Parameter, wie auch einer Evaluationsstrategie und zugehörige Evaluationsepisoden in Kapitel 7 das aus der Design Science Research stammende Framework von VENABLE ET AL. (2016) zur Unterstützung der Evaluation von Design-Science-Research-Artefakten herangezogen.

Dem Framework zufolge existieren verschiedene Evaluationsstrategien, die verschiedene künstliche und naturalistische Evaluationsmethoden in Abhängigkeit der Umstände und Art des Design-Science-Research-Projekts kombinieren. Die Methoden unterscheiden sich dabei wie folgt (Venable et al. 2016, S. 78–82):

- *Künstliche Evaluationsmethoden*: Ziel hierbei ist das Testen von Entwurfs-Hypothesen (warum ein Artefakt funktioniert) oder das Testen der Nützlichkeit des Artefakts durch empirische oder nicht-empirische Methoden wie z. B. Laborexperimente, Simulationen oder mathematische Beweisführung.
- *Naturalistische Evaluationsmethoden*: Ziel hierbei ist die empirische Ermittlung der Performanz eines Artefakts in seiner realen Umgebung, durch z. B. Fallstudien, Feldstudien, Feldexperimente oder Umfragen.

Durch die Kombination der Methoden entsteht eine Progression, die von einem Zustand ohne Evaluation hin zu einem Zustand mit umfassender und realistischer Evaluation führt. Zwischen diesen beiden Extrema sind entsprechend viele Zwischenevaluationen vorgehen, die entweder der *formativen Evaluation* (Verbesserung des zu evaluierenden Artefakts) oder *summativen Evaluation* (Ermittlung der Einsatzfähigkeit des zu evaluierenden Artefakts in verschiedenen Kontexten) dienlich sind (Venable et al. 2016, S. 78–82). Damit deckt das Framework auch den Ansatz der intermediären Evaluation ab und unterstützt die Wahl und Abfolge verschiedener Evaluationen eines Artefakts.

Aus der Analyse und Planung der Evaluationsstrategie in Kapitel 7 ergibt sich für diese Arbeit aufgrund der Modellkomplexität, den zur Verfügung stehenden Ressourcen, der Unreife der Domäne und dem Zeitpunkt der Evaluation der Einsatz *künstlicher Methoden*. Dies ermöglicht eine *formative, qualitative Evaluation*, die die Grundlage eines progressiven Evaluationspfades bzw. einer progressiven Evaluationsstrategie für eine zukünftige empirische, summative Evaluation bildet.

Dabei wird eine argumentativ-deduktive *intermediäre Evaluation* sowohl der Teilartefakte (Gestaltungsbereiche) als auch eine die Arbeit *abschließende Evaluation* des Gesamtartefakts (Reifegradmodell) durchgeführt. Für die Evaluation der einzelnen Gestaltungsbereiche werden die bereits identifizierten Herausforderungen digitalisierter Produkte aus Kapitel 3.4 als Grundlage herangezogen, um die Vollständigkeit jedes Gestaltungsbereichs zu prüfen und gegebenenfalls entsprechend zu ergänzen. Die abschließende Evaluation wird nach der Entwicklung des feinen Modellkonzepts durchgeführt. Zu diesem Zweck wird auf vorhandene Fallstudien zurückgegriffen und das Modell auf diese angewendet, um etwaige (theoretische) Probleme des Modells zu identifizieren und zu antizipieren. Dies ermöglicht auch eine erste Abschätzung der Einsatzfähigkeit des Modells in der Praxis.

Eine ex-post-Evaluation im eigentlichen Sinne, also eine Evaluation nach der operativen Einführung bzw. Implementierung des Modells, findet, wie bereits in Kapitel 4.5 skizziert, im Rahmen der vorliegenden Arbeit nicht statt. Stattdessen

wurden entsprechende zukünftige Evaluationsepisoden als Teil einer Evaluationsstrategie entworfen. Die damit eine Grundlage für zukünftige ex-post-Evaluationen bilden.

Eine ex-ante-Evaluation vor der Artefakt-Konstruktion wiederum dient, in Bezug z. B. auf ein System-Artefakt, der Entscheidung, ob eine Technologie entwickelt oder akquiriert werden soll (Venable et al. 2016, S. 79), oder in Bezug auf ein Design-Artefakt der Überprüfung des Suchprozesses (Pries-Heje et al. 2008, o. S.). Übertragen auf die Reifegradmodellierung wäre dies

1. die Evaluation der Notwendigkeit und die Art der Entwicklung (Neuentwicklung, Weiterentwicklung, etc.) eines Reifegradmodells für digitalisierte Produkte
2. sowie die Evaluation des Gestaltungsprozesses der Modellentwicklung.

Die Notwendigkeit und Art der Entwicklung wurde durch die Motivation und bisherigen Teilergebnisse der vorangegangenen Kapitel Rechnung getragen. Darüber hinaus basiert das Ergebnis-Artefakt auf bereits veröffentlichten Reifegradmodellen, von denen die meisten wiederum durch andere Publikationen evaluiert und als die in der jeweiligen Domäne am meisten entwickelten Modelle identifiziert worden sind, sodass hier zusätzlich bereits eine indirekte Evaluation stattgefunden hat.

Eine Evaluation des Gestaltungsprozess durch eine entsprechende Evaluationsmethode ist in dieser Form nicht vorgesehen. Als Grundlage für den Gestaltungsprozess wurde auf (Vorgehens-)Modelle der Reifegradmodell-Entwicklung und Empfehlungen für die Parameterausprägungen zurückgegriffen. Diese wurden zu einem Vorgehen für die vorliegende Arbeit kombiniert, um so etwaige Risiken und Probleme der Konstruktion zu reduzieren. Parallel wurde ein kritischer Diskurs in Bezug auf die Vorgehensmodelle und Parameter durchgeführt. Weitere kritische Anmerkungen im Rahmen einer Diskussion der Ergebnisse finden sich in der kritischen Würdigung dieser Arbeit in Kapitel 8. Daher wird keine Notwendigkeit einer expliziten Prozessevaluation durch eine spezifische Evaluationsmethode gesehen.

5.3 Zusammenfassung der Ergebnisse als Modellarchitektur

Ziel des vorliegenden Kapitels war es, das grobe Modellkonzept in Form der Modellstruktur für das Reifegradmodell der vorliegenden Arbeit, dem DPMM, als Grundlage für die inhaltliche Ausgestaltung im feinen Modellkonzept auszuarbeiten.

Hierzu wurden in einem ersten Schritt bisherige Reifegradmodellansätze für digitalisierte Produkte im Rahmen einer systematischen Literaturanalyse ermittelt und analysiert. Dadurch konnte festgestellt werden, dass Reifegradmodelle bisher vor

allem für Anwendungsdomänen und nicht für Forschungsdomänen entwickelt worden sind. Darüber hinaus wurde meist ein spezifischer Unterbereich der jeweiligen Anwendungsdomäne fokussiert, z. B. Reifegradmodell für Smart Government in der Domäne Smart City. Seltener wurde die ganze Domäne durch die jeweiligen Modelle erfasst.

Die meisten Modellansätze wurden für die Anwendungsdomänen *Manufacturing*, *Smart City* und *Energy* entwickelt. Für einige Anwendungsdomänen wie z. B. *Smart Home* konnte dagegen kein Modell bzw. keine Publikation identifiziert werden. Dies schließt nicht aus, dass es Reifegradmodelle für diese Domänen existieren, jedoch liegt die Vermutung nahe, dass sich in diesen Domänen bisher weniger mit Reifegradmodellen befasst wird und die Literatursuche sie daher nicht erfassen konnte. Im Bereich der Forschungsdomänen konnte darüber hinaus nur über eine ergänzende narrative Literaturanalyse ein Modellansatz identifiziert werden, der ein Reifegradmodell für die Capabilities digitalisierter Produkte im IoT vorschlägt. Ein domänenunabhängiges bzw. domänenübergreifendes Modell konnten nicht identifiziert werden.

Die meisten der identifizierten Modelle orientieren sich am etablierten CMM(I)-Konzept. Sie stellen dabei jedoch oft nur Ansätze statt vollständig entwickelter und evaluierte Modelle dar, die meist nur deskriptiv und weniger präskriptiv sind. Auffällig ist auch die oft fehlende Nutzerperspektive, die gleichzeitig auch ein Kritikpunkt der allgemeinen Reifegradmodellierung darstellt.

Auf Basis der Erkenntnisse und den bisherigen Ergebnissen der Arbeit wurden als zweiter Schritt dementsprechend die Parameter und Architekturkomponenten für die Konzeption eines domänenunabhängigen bzw. -übergreifenden Modells festgelegt. Idee des Modells dieser Arbeit, dem DPMM, ist daher der Entwurf eines domänenunabhängigen Reifegradmodells, das die digitalisierten Produkte selbst als Objekt der Reife betrachtet und für die verschiedenen Reifeausprägungen eines digitalisierten Produktes aus unterschiedlichen Dimensionen Gestaltungsziele bzw. -tätigkeiten darreicht. Dadurch wird Unternehmen und Einrichtungen, die bereits digitalisierte Produkte entwickeln oder planen dies zukünftig zu tun, ein Diagnose- und Planungswerkzeug dargereicht. Gleichzeitig bietet das DPMM auch Einsatzpotentiale für Unternehmensberatungen (Unternehmenspositionierung und Vergleich) und Forschungseinrichtungen (Analyse von Domänen- und Produktreife).

Das DPMM bildet dabei ein multidimensionales Reifekonzept (Objekt- und Personenreife) in einem Stufenmodell ab, wobei die Reife dem Ansatz der potentiellen Verbesserung folgend auf jeder Zwischenstufe (Reifegrad) erlangt werden kann. Zur Abbildung der verschiedenen Reifestufen konnten fünf Reifegrade identifiziert

werden, die auf dem System-of-Systems-Ansatz und dem Smart-Object-Capability-Ansatzes basieren: (R1) *Smart Product*, (R2) *Smart, connected Product* und (R3) *Aware smart, connected Product*, (R4) *Product System*, (R5) *System-of-Systems*.

Zur Kategorisierung des Untersuchungsbereichs (digitalisierte Produkte) und in Anlehnung an die Prozessgebiete des CMMI konnten darüber hinaus die folgenden Gestaltungsdimensionen identifiziert werden: (D1) *Strategic and Financial Planning*, (D2) *Organization and Governance*, (D3) *Stakeholder Management*, (D4) *Organizational Processes*, (D5) *Technology Support and Communication*, (D6) *Product Design*, (D7) *Organizational Data and Analytics*.

Für die Reifebewertung, das Assessment, wurden als ergänzende Modellkomponenten die Gestaltungsbereiche, die Gestaltungsziele und die Umsetzungsgrade konzeptualisiert. Dabei stellen die Gestaltungsbereiche Bündel dar, die verschiedene inhaltlich zusammengehörige Gestaltungsziele zusammenführen, während die Gestaltungsziele die eigentlichen Umsetzungsmaßnahmen und -ziele darstellen. Die Umsetzungsgrade wiederum beschreiben, inwieweit welche Gestaltungsziele eines Gestaltungsbereichs für einen spezifischen Reifegrad umgesetzt sein müssen, damit ein Unternehmen diesen Reifegrad erreichen kann. Durch einen Soll-Ist-Vergleich erfolgt die Einordnung eines Unternehmens zu einem Reifegrad.

Abbildung 22 illustriert die dadurch entstandene Modellarchitektur anhand der ersten Gestaltungsdimension *Strategic and Financial Planning*.

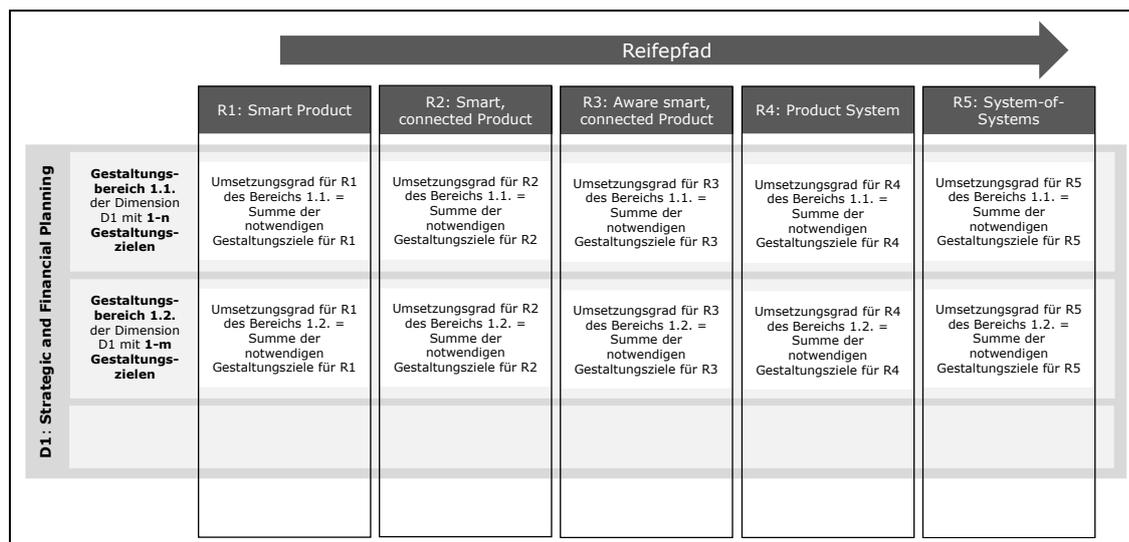


Abbildung 22: Beispielhafter Auszug der Modellarchitektur des DPMM

Im Kern handelt es sich bei dem Modell somit um eine Neuentwicklung, die ähnlich wie andere Reifegradmodelle die klassische Grundstruktur der mehrstufigen Reife

(Stufenmodell) und Dimensionen, wie sie auch im CMM(I) zu finden ist, nutzt, ohne diese aber inhaltlich z. B. dem CMM(I) zu entnehmen.

Das DPMM lässt sich aufgrund seiner Zellenstruktur und geplanten deskriptiven Textbeschreibungen von Aktivitäten als rasterbasiertes Modell (Maturity Grid) kategorisieren (siehe Reifegradmodell-Basistypen in Kapitel 4.3.3). Grundlage hierfür bilden ausgewählte Reifegradmodelle der Problemdomäne. Der Fokus ist dementsprechend wie bei diesen Modellen die Leistungsbewertung und weniger die Leistungssteigerung. Daher wird z. B. nicht definiert, wie ein Prozess im Detail konzipiert sein sollte, sondern welche Merkmale die Prozesse generell aufweisen sollten (Fraser et al. 2002, S. 246; Maier et al. 2012, S. 138–139; Winter und Mettler 2016, S. 165).

Darüber hinaus wurde das weitere Vorgehen im Rahmen des feinen Modellkonzepts und der Evaluation skizziert. Im feinen Modellkonzept werden zunächst basierend auf den ausgewählten Reifegradmodellen die relevanten Gestaltungsbereiche und Gestaltungsziele identifiziert, extrahiert und konsolidiert. Nach einer ersten intermediären Evaluation anhand der Herausforderungen digitalisierter Produkte werden dann in einem zeilenweisen Vorgehen die Gestaltungsziele und sich daraus ergebende Soll-Werte für die Umsetzungsgrade den Reifegraden zugeordnet.

Im Anschluss an das feine Reifegradmodellkonzept erfolgt die detaillierte Vorstellung des Evaluationskonzepts bzw. der Evaluationsstrategie der vorliegenden Arbeit und die Durchführung einer weiteren Evaluationsepisode anhand ausgewählter Fallstudien.

6 Feines Reifegradmodellkonzept für digitalisierte Produkte

In dem vorliegenden Kapitel wird, wie in Kapitel 4.5 erläutert und in Abbildung 20 dargestellt, das feine Modellkonzept für das Reifegradmodell der vorliegenden Arbeit, das DPMM, erarbeitet. Das feine Modellkonzept umfasst die inhaltliche Modellausgestaltung der in Kapitel 5.3 definierten Modellarchitektur und notwendige Erweiterungen dieser.

Nach einer einführenden Erläuterung des methodischen Vorgehens (KAPITEL 6.1), werden die Dimensionen des DPMM inhaltlich und architektonisch verfeinert und die daraus entstandenen Gestaltungsbereiche mit Gestaltungszielen angereichert. Nach jeder Fertigstellung eines Gestaltungsbereichs erfolgt anhand der identifizierten Herausforderungen digitalisierter Produkte eine Evaluation des entsprechenden Bereichs (KAPITEL 6.2).

Im Anschluss an die Ausgestaltung der Dimensionen wird ein Vorschlag für die Zuordnung von Umsetzungsgraden zu den Reifegraden des DPMM dargereicht (KAPITEL 6.3).

Das Kapitel schließt mit einer kurzen Zusammenfassung der zentralen Ergebnisse (KAPITEL 6.4).

6.1 Methodisches Vorgehen des Kapitels

In Kapitel 5.2.5 wurde bereits im Rahmen des groben Modellkonzepts die grundsätzliche Vorgehensweise zur Ausgestaltung des Feinkonzepts skizziert. Demnach folgt diese Arbeit einem zeilenweise-orientierten Vorgehen: So wird zunächst die zu gestaltende Dimension des DPMM ausgewählt, für welche im nächsten Schritt dann die entsprechenden Gestaltungsbereiche und zugehörige Gestaltungsziele ermittelt werden. Die Bezugsquelle hierbei bilden die identifizierten Reifegradmodelle digitalisierter Produkte aus Kapitel 5.1.8, die bereits die Grundlage für die Ermittlung der Dimensionen des DPMM in Kapitel 5.2.3 bildeten.

Als Vorbereitung für das zeilenweise Ausgestalten des DPMM werden zunächst alle Gestaltungsziele der Reifegradmodelle extrahiert und in einer ersten groben Zuordnung den Gestaltungsdimensionen zugewiesen. Dieser Schritt ist notwendig, um Gestaltungsbereiche einer Dimension identifizieren zu können.

Da die Modelle ein anderes Reifekzept und Assessment verfolgen (in der Regel angelehnt an das CMMI, keine Umsetzungsgrade) wird bei der Ermittlung und Extraktion der Gestaltungsziele – der Idee der Umsetzungsgrade von ALTUNTAS UND UHL (2015, S. 154–156) folgend – der von den Modellen bestmögliche definierte

Zustand eines Gestaltungsziels ermittelt. Dieser spiegelt sich in der Regel im höchsten Reifegrad wieder, wobei einige Tätigkeiten/Ziele ihren optimalen Zustand bereits auch in einem früheren Reifegrad erreichen können. Daher werden die Modelle vom höchsten Reifegrad ausgehend zum niedrigsten Reifegrad hin durchlaufen, um Gestaltungsziele und deren optimale Ausprägung zu ermitteln. Eine optimale Ausprägung wird im Rahmen dieser Arbeit so verstanden, dass eine Veränderung eines Gestaltungsziels auf keinem höheren Reifegrad mehr vorgenommen wird und damit die letzte benannte Ausprägung die optimale Ausprägung darstellt. Dieser Vorgang wird im weiteren Verlauf der Arbeit als **Extraktion der Gestaltungsziele** bezeichnet.

Von der Extraktion ausgeschlossen werden Gestaltungsziele deren Nennung nicht ausreichend für ein Verständnis des Gestaltungsziels ist und bei dem keine ergänzenden inhaltlichen Erläuterungen in der jeweiligen Quelle zu finden sind. So listet beispielsweise SCHUMACHER ET AL. (2016, S. 164) in der Dimension *Operations* das Gestaltungsziel *Modelling und Simulation* ohne näher zu bestimmen, was wann wie modelliert bzw. simuliert werden soll. Daher werden dieses Gestaltungsziel und ähnliche Ziele aufgrund fehlender inhaltlicher Angaben von der Betrachtung im Rahmen dieser Arbeit ausgeschlossen.

Nach der Extraktion der Gestaltungsziele wird dem zeilenweise Ausgestalten entsprechend eine Dimension ausgewählt und die für die Dimension extrahierten Gestaltungsziele untereinander inhaltlich abgeglichen. Dies dient dazu etwaige Muster zu identifizieren, aus denen sich die Gestaltungsbereiche (Bündel von Gestaltungszielen) ableiten lassen. Im weiteren Verlauf der Arbeit wird das Verfahren als **Bereichsmusteranalyse** bezeichnet.

Im Anschluss erfolgt die Analyse und ggf. notwendige Zusammenführung inhaltlich gleicher Gestaltungsziele unterschiedlicher Quellen, um so etwaige inhaltliche Redundanzen zu beseitigen. Dieser Schritt wird im weiteren Verlauf der Arbeit als **Konsolidierung der Gestaltungsziele** bezeichnet.

Nach Ermittlung der Gestaltungsbereiche und -ziele einer Dimension erfolgt eine quantitative und qualitative kritische Reflexion bzw. Diskussion der Ergebnisse, um Defizite aufzeigen zu können. Hierbei wird den folgenden Fragen nachgegangen:

- *Quantitativ*: Wie viele Gestaltungsziele für einen Gestaltungsbereich konnten ermittelt werden und welcher Anwendungsdomäne entstammen die Inhalte?
- *Qualitativ*: Inwieweit decken die Gestaltungsziele aktuelle Herausforderungen ab?

Für die qualitative Analyse werden die Ergebnisse der Herausforderungsanalyse des Kapitels 3.4 herangezogen. Dieser Schritt wird im weiteren Verlauf der Arbeit als **Zwischenevaluation des Artefakts** bezeichnet (zur Artefaktevaluation siehe auch Kapitel 5.2.6 und Kapitel 7).

Grundsätzlich handelt es sich bei dem zu konzipierenden Modell um ein deskriptives Modell. Leistungssteigerungsmaßnahmen wie Best Practices, die eher in präskriptiven Modellen zu verordnen sind, sind daher auch aufgrund ggf. fehlender Quellen nicht per se vorgesehen. Sie werden aber ggf. ergänzend mitangeführt, wo Quellen dies bereits ermöglichen. Best Practices werden dabei wie folgt verstanden (Limam Mansar und Reijers 2007, S. 193):

„A best practice may be seen as a successful way to treat a particular problem that may need to be adapted in skilful ways in response to prevailing conditions.“

PÖPPELBUß UND RÖGLINGER (2011, o. S.) empfehlen für Best Practices entsprechende Unterstützungsangebote für Auswahl-situationen (z. B. Wahl zwischen alternativen Best Practices) und für etwaig notwendiger Anpassungen (z. B. Anpassung der gewählten Best Practice auf die Unternehmenssituation) zu entwickeln und bereitzustellen. Für die noch junge Domäne der digitalisierten Produkte dürften entsprechende Best Practices eher noch im geringen Maße vorhanden sein, sodass entsprechende Entscheidungshilfen oder Vorgehensmodelle für die präskriptive Ausgestaltung des Modells noch nicht entwickelbar sind. Sie können daher erst in zukünftigen Verbesserungen und Weiterentwicklungen des DPMM integriert werden.

Nachdem alle Dimensionen inhaltlich ausgestaltet und durch eine Zwischenevaluation bestätigt worden sind, werden die Umsetzungsgrade für die Gestaltungsbereiche in Abhängigkeit zu den Reifegraden im Rahmen eines argumentativ-deduktiven Diskurses exemplarisch festgelegt. Hierfür werden zunächst die Gestaltungsziele den jeweilig passenden Reifegraden zugeordnet und daraus dann mathematisch die Umsetzungsgrade berechnet. Dieser Schritt wird im weiteren Verlauf der Arbeit als **Festlegung der Umsetzungsgrade** bezeichnet.

Die Abbildung 23 fasst das methodische Vorgehen des Kapitels zusammen.

Abschließend sei angemerkt, dass das durch dieses Vorgehen konzipierte Modell den ersten Modell-Entwurf darstellt. Der Fokus liegt daher nicht auf der Vollständigkeit des DPMM, sondern auf der Relevanz, Erheblichkeit und Wirksamkeit für die Entwicklung digitalisierter Produkte und deren inhärenten Eigenschaften. Um jedoch weitestgehend viele Defizite frühzeitig zu ermitteln (z. B. fehlende Gestaltungsziele), wird das Modell im Rahmen der Evaluation in Kapitel 7 auf verschiedene Fallstudien angewendet. Da die dem DPMM zugrundeliegenden

Reifegradmodelle Anwendungsdomänen-Modelle darstellen, soll dadurch auch identifiziert werden, inwieweit bestimmte Gestaltungsbereiche/-ziele nur für eine Anwendungsdomäne gelten und nicht, wie zunächst in diesem Kapitel angenommen, für alle Domänen übertragbar sind.

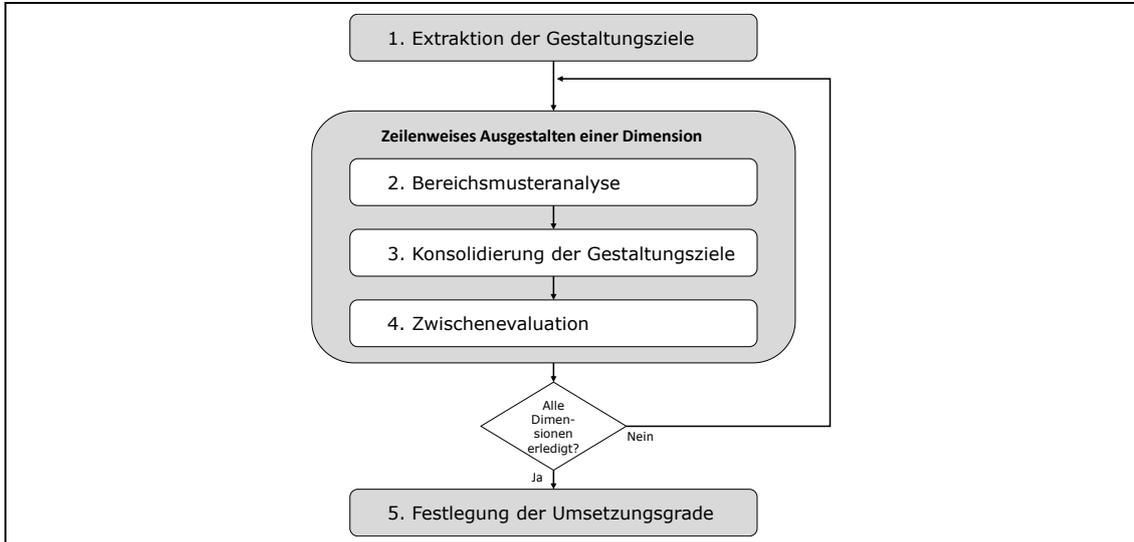


Abbildung 23: Überblick über das methodische Vorgehen zur Ausgestaltung des feinen Reifegradmodellkonzepts

6.2 Ausgestaltung und Zwischenevaluation der Gestaltungsbereiche und -ziele des DPMM

In Kapitel 5.2.4 wurde das Konzept der Gestaltungsbereiche und Gestaltungsziele dargelegt: Die Gestaltungsbereiche stellen Unterbereiche der Gestaltungsdimensionen dar und können als Bündel zusammengehöriger Merkmale und Maßnahmen verstanden werden. Diese Maßnahmen und Merkmale werden als Gestaltungsziele bezeichnet. Die Gestaltungsziele stellen dabei das *Was* (Welche Maßnahmen/Aktivitäten/Merkmale sind notwendig?), aber nicht das *Wie* (Wie bzw. mit welchen Technologien etc. werden diese Maßnahmen/Aktivitäten/Merkmale umgesetzt bzw. eingeführt?) dar und geben daher nur die Richtung vor.

Wie dem Vorgehen aus Kapitel 6.2 zu entnehmen ist, erfolgt im Rahmen dieses Kapitels die Ergebnisdarstellung der folgenden Teilschritte der Modellentwicklung:

- die *Extraktion der Gestaltungsziele*,
- die *Bereichsmusteranalyse* und
- die *Konsolidierung der Gestaltungsziele*.

Für jeden Gestaltungsbereich erfolgt außerdem die *Zwischenevaluation* anhand der identifizierten Herausforderungen aus Kapitel 3.4.

Nachdem alle Gestaltungsbereiche aller Dimensionen ausgestaltet und evaluiert worden sind, erfolgt eine kurze Zwischen-Zusammenfassung und kritischen Anmerkungen zu den Ergebnissen.

6.2.1 Dimension Strategic and Financial Planning des DPMM

Die Dimension *Strategic and Financial Planning* umfasst alle Themen bzgl. der Strategie-/Visions-/Roadmapentwicklung, der Investitions- und Finanzierungsplanung sowie der Entwicklung von Geschäftsmodellen (siehe Kapitel 5.2.3). Die Bereichsmusteranalyse bestätigte, dass dies gleichzeitig auch die Gestaltungsbereiche der Dimension konstituieren: (1) *Strategy Development*, (2) *Funding and Investment* und (3) *Business Models*.

Im Folgenden werden die drei Gestaltungsbereiche der Dimension inhaltlich voneinander abgegrenzt und die aus den als Bezugsquelle genutzten Reifegradmodellen konsolidierten Gestaltungsziele in den zugehörigen Tabellen dargereicht.

6.2.1.1 Gestaltungsbereich Strategy Development

Die mit der Strategieentwicklung assoziierten Konzepte der Reifegradmodelle - Strategie, Roadmap und Vision - sind in der Literatur nicht immer eindeutig definiert und die Reifegradmodelle liefern hierzu in der Regel selbst ebenfalls keine Erläuterungen. Daher erfolgt eine kurze Abgrenzung:

Unter *Strategie* wird im Bereich der Unternehmensplanung bzw. dem strategischen Management „die grundsätzliche, langfristige Verhaltensweise (Maßnahmenkombination) der Unternehmung und relevanter Teilbereiche gegenüber ihrer Umwelt zur Verwirklichung der langfristigen Ziele“ (Müller-Stewens und Gillenkirch 2018, o. S.) verstanden. Sie umfasst damit Inhalte in Bezug auf den Tätigkeitsbereich, die zur Zielerreichung notwendigen Unternehmensressourcen und -fähigkeiten, Wettbewerbsvorteile und möglichen Synergien (Müller-Stewens und Gillenkirch 2018, o. S.).

Bei der *Vision* handelt es sich ebenfalls um normative Richtlinien für die Unternehmensmitarbeiter, aber in Form eines idealisierten, zukünftigen Unternehmenszustands, wodurch eine Richtung für die Evolution des Unternehmens vorgegeben wird. Es handelt sich dabei allerdings um keine unerreichbare Utopie (Kopaneva und Sias 2015, S. 361; Ant 2018, S. 162). Im Rahmen der identifizierten und ausgewählten Reifegradmodelle spezifischer digitalisierter Produkte wurde unter Vision ebenfalls ein abstraktes Zukunftsszenario verstanden, bei dem Unternehmens-, wie auch Stakeholderziele durch das digitalisierte Produkt erfüllt werden (SGMM Team 2011, S. 13).

1.1. Strategy Development	Quellen	E	M	S	T
1.1.1. Strategie: Entwicklung und Implementierung einer Strategie und Festlegung von strategischen Prioritäten.	(The Scottish Government et al. 2014, S. 12; Akdil et al. 2018, S. 71–74)	-	X	X	-
1.1.2. Roadmap: Entwicklung und Implementierung einer Roadmap.	(The Scottish Government et al. 2014, S. 12; Schumacher et al. 2016, S. 164)	-	X	X	-
1.1.3. Vision: Entwicklung und Implementierung einer Vision, die soziale, ökonomische und ökologische Ziele und Grundsätze spezifiziert (die sogenannten Tripple-Bottom-Line Goals).	(SGMM Team 2011, S. 56; Clarke 2013, S. 8; The Scottish Government et al. 2014, S. 12)	X	-	X	-
1.1.4. Stakeholder-Kooperation: Vision, Strategie und Roadmap werden in Zusammenarbeit mit verschiedenen Stakeholdern aus unterschiedlichen Bereichen des Ökosystems entwickelt.	(SGMM Team 2011, S. 16; Clarke 2013, S. 16; The Scottish Government et al. 2014, S. 12; Lim et al. 2019, o. S.)	X	-	X	X
1.1.5. Interessensabgleich: Die Strategie und die Vision sind mit nationalen, regionalen und lokalen Interessen abgeglichen.	(SGMM Team 2011, S. 10)	X	-	-	-
1.1.6. Treiber-Rolle: Vision und Strategie sind Treiber bzw. Vorgabe für Entwicklungen und Veränderungen in allen weiteren Bereichen (z. B. Investitionen, Kollaborationen und Gestaltung der Arbeitsprozesse und Services).	(SGMM Team 2011, S. 15–21; The Scottish Government et al. 2014, S. 12)	X	-	X	-
1.1.7. Weiterentwicklung/Optimierung: Die Weiterentwicklung und Optimierung der Strategie und damit ggf. verbundene Einführung neuer Services und Produktangebote basieren auf deutlichen Belegen hinsichtlich einer Wirkung auf die Wettbewerbsfähigkeit sowie den Erkenntnissen, die durch die Einführung und den Betrieb digitalisierter Produkte gewonnen wurden.	(SGMM Team 2011, S. 16; The Scottish Government et al. 2014, S. 12)	X	-	X	-
1.1.8. Marktanalyse: Es werden andere Projekte/Produkte (z. B. andere Smart Cities) analysiert und Informationen gesammelt.	(The Scottish Government et al. 2014, S. 39)	-	-	X	-
Legende: X enthalten; - nicht enthalten; E=Energy; M=Manufacturing; S=Smart City; T=Tourism					

Tabelle 46: Gestaltungsziele des Gestaltungsbereichs Strategy Development des DPMM

Auch der Begriff der *Roadmap* wird gelegentlich als Synonym für die grafische Darstellung der Strategie oder des Projektplans verwendet (Phaal et al. 2004, S. 27; Pakdaman et al. 2019, S. 810). Im Duden findet sich für den Begriff im Rahmen der IT die Definition: „*Plan für die zukünftige Entwicklung von Technologien und Produkten*“ (Dudenredaktion o. J.g, o. S.). Das Roadmapping, bei der die Roadmap visualisiert wird, kann wiederum als „*kreatives Analyseverfahren [verstanden werden], mit dem die Entwicklungspfade von Produkten, Dienstleistungen und Technologien in die Zukunft hinein analysiert, prognostiziert und visualisiert werden*“ (Möhrle und Specht 2018, o. S.). Es handelt sich im Vergleich zum Pro-

jektplan daher eher um eine grobe Projekt- oder auch Produktplanung. Die Reifegradmodelle, die diesen Begriff verwendet haben, bieten keine eigene Definition oder Beschreibung. THE SCOTTISH GOVERNMENT ET AL. (2014, S. 2) verknüpft ihn lediglich eng mit dem Begriff der Investition, da immer wieder von der *Investment Roadmap* die Rede ist.

Daher werden die drei Themen - *Strategie, Roadmap* und *Vision* – aufgrund der inhaltlichen Nähe und Überschneidungen als ein Gestaltungsbereich zusammengeführt. Dabei wurde sich auf die ganzheitliche Perspektive der strategischen Ausrichtung des Unternehmens in dem Gestaltungsbereich fokussiert. Strategische Aspekte verschiedener Teilprozesse (z. B. Entwicklung einer Strategie für die Inbetriebnahme von Dienstleistungen) u. ä. wurden entsprechend der inhaltlichen Nähe in den anderen Gestaltungsdimensionen bzw. -bereichen verordnet.

Der Gestaltungsbereich *Strategy Development* umfasst demnach alle Gestaltungsziele, die sich mit der strategischen Ausrichtung der Entwicklung von digitalisierten Produkten aus ganzheitlicher Unternehmensperspektive befassen. Hierzu zählen neben der eigentlichen Strategieentwicklung, z. B. auch der Abgleich verschiedener Interessen. Im Kern identifizierten die verschiedenen Reifegradmodelle hierbei die (Weiter-)Entwicklung von Strategie, Vision und Roadmap als Treiber für alle anderen Gestaltungsbereiche. Diese müssen jedoch mit verschiedenen Interessen abgeglichen und im Idealfall in Zusammenarbeit mit verschiedenen Stakeholdern des Ökosystems zusammen entwickelt oder optimiert werden.

In Tabelle 46 finden sich die identifizierten und konsolidierten Gestaltungsziele für den Gestaltungsbereich sowie ihre Ursprungsquelle bzw. Ursprungsdomäne.

6.2.1.2 Gestaltungsbereich Funding and Investment

Der Gestaltungsbereich *Funding and Investment* umfasst alle Gestaltungsziele, die sich mit der notwendigen Finanzierung von Veränderungen, Neuerungen sowie langfristigen Investitionen befassen, die notwendig für die Entwicklung, Einführung und den Betrieb digitalisierter Produkte sind. Dies beinhaltet z. B. konkrete Investitionsobjekte, Finanzierungsmöglichkeiten und zugehörige Prozesse.

Auch fällt hierunter dementsprechend die Etablierung von sogenannten *Business Cases*, die „eine Handlung bzw. Investition mit einem positiven Kosten-/Nutzenverhältnis“ bezeichnen, wobei Kosten und Nutzen „auch Folgewirkungen in Bezug auf Faktoren wie Arbeitgeberattraktivität, Mitarbeitermotivation oder Reputation“ umfassen (Lin-Hi und Suchanek 2021, o. S.).

Obwohl Aspekte der Finanzierung der strategischen Planung zugeordnet werden (Bieger und Reinhold 2011, S. 23), bilden diese aufgrund ihres Umfangs an Gestaltungszielen einen eigenen Gestaltungsbereich aus.

In Tabelle 47 finden sich die entsprechenden Gestaltungsziele für den Gestaltungsbereich, ihre Ursprungsquelle und ihre originäre Domäne.

1.2. Funding and Investment		Quellen	E	M	S	T
1.2.1.	Finanzierungs-/Investitionsbasis: Geschäftsaktivitäten der digitalisierten Produkte (z. B. Data-driven Services) erzeugen >10% des Umsatzes und liefern ausreichend finanzielle Ressourcen für kontinuierliche Investitionen in Erhaltung und Ausbau dieser.	(SGMM Team 2011, S. 16–17; Akdil et al. 2018, S. 74)	X	X	-	-
1.2.2.	Kosten/Nutzen-Analysen werden vierteljährlich durchgeführt.	(Akdil et al. 2018, S. 74)	-	X	-	-
1.2.3.	Betriebliche und ökologisch getriebene Investitionen sind an der Strategie und dem Business Plan ausgerichtet.	(SGMM Team 2011, S. 14 und 56)	X	-	-	-
1.2.4.	Taktische IT-Investitionen sind mit der Unternehmens-IT-Architektur abgestimmt.	(SGMM Team 2011, S. 36)	X	-	-	-
1.2.5.	Technologie-Investitionen sind mit den Ergebnissen verknüpft und werden wirksam über mehrere Organisationen eingesetzt.	(The Scottish Government et al. 2014, S. 38)	-	-	X	-
1.2.6.	Investitionsziele: Investitionen, um die Nutzung von Open Data zu verbessern und um zu helfen Innovationen zu stimulieren, finden regelmäßig statt (z. B. Hackathons, Service Jams, Wettbewerbe).	(The Scottish Government et al. 2014, S. 35)	-	-	X	-
1.2.7.	Investitionsauswirkungen: Investitionen haben klare Auswirkungen auf die strategischen Prioritäten.	(The Scottish Government et al. 2014, S. 12)	-	-	X	-
1.2.8.	Geteilte Investitionsobjekte: Investitionen in geteilte Architekturen zwischen Organisationen/Gruppen mit separaten Budget-Strömen wurden getätigt und die Vorteile sind bewiesen. Ein System-of-Systems-Ansatz ist im Einsatz.	(The Scottish Government et al. 2014, S. 37)	-	-	X	-
1.2.9.	Interne Investitionsobjekte: Unternehmen überprüfen, passen an und investieren kontinuierlich in Technologien, fortgeschrittenes Data Management, Analytics und Big Data sowie in offene, flexible, integrierte und skalierbare IT-Architekturen. Dadurch treiben sie Service-Transformation und Innovation, wie z. B. Erbringung von automatisierten und dynamische Echtzeit-Response Capabilities, voran, sodass in fast allen funktionalen Geschäftsbereichen Investitionen getätigt werden.	(The Scottish Government et al. 2014, S. 12; Akdil et al. 2018, S. 74)	-	X	X	-
1.2.10.	Abstimmung von Investitionen: Erstellung eines Plans zur Abstimmung der verschiedenen (Bereichs-)Investitionen und dafür Auswahl von notwendigen Services, die Schlüsselherausforderungen adressieren.	(Clarke 2013, S. 12)	-	-	X	-
1.2.11.	Skaleneffekte nutzen: Identifizierung von Möglichkeiten, die Skaleneffekte ausnutzen, um die per Capita Kosten der digitalisierten Produkt-Investitionen zu reduzieren.	(SGMM Team 2011, S. 16)	X	-	-	-

1.2. Funding and Investment		Quellen	E	M	S	T
1.2.12. Autorisierungen sichern: Alle benötigten Autorisierungen von Stakeholdern für die Investitionen wurden gesichert.	(SGMM Team 2011, S. 15)	X	-	-	-	-
1.2.13. Business Cases , die Departments, Behörden und Organisationen umfassen und das Potential für langfristige Skalierbarkeit demonstrieren, sind etabliert. Die Möglichkeit der Wiederverwendung von Capabilities, die für ein Projekt konzipiert wurden, wird für zukünftige Entwicklung innerhalb der Investitionsentscheidungen berücksichtigt.	(The Scottish Government et al. 2014, S. 12 und 33)	-	-	X	-	-
1.2.14. Proof-of-concept-Projekte zur Evaluierung der Umsetzbarkeit werden unterstützt, finanziert und sind an der Vision ausgerichtet.	(SGMM Team 2011, S. 14)	X	-	-	-	-
1.2.15. Shared Investments: Geteilte Investitionen (Co-Investments, Joint Venture, Joint Investment) zur Sicherstellung skalierbarer Verbesserungen auf Basis vereinbarter Ergebnisse sind vorhanden.	(SGMM Team 2011, S. 16; The Scottish Government et al. 2014, S. 12)	X	-	X	-	-
1.2.16. Business Ventures und Co-Investments: Das Unternehmen beteiligt sich bei der Erkundung neuer unternehmerischer Vorhaben (Business Ventures) oder Co-Investments mit anderen Stakeholdern zur Strategieoptimierung.	(SGMM Team 2011, S. 16)	X	-	-	-	-
1.2.17. Finanzierungs-Portfolio und Prozess: Portfolio verschiedener (innovativer) Finanzierungsoptionen (z. B. Market-driven Funding, Regulatory Funding) ist sichergestellt und damit verbunden die Etablierung eines koordinierten Budgeting-/Finanzierungsprozess (inkl. Review von Finanzierungsprogrammen, Abstimmung mit der Strategie, Kollaborationen der Fachbereiche, Wissensteilung über Investitionsprioritäten und Pooling von Ressourcen, Integration von Organisationsbudgets).	(SGMM Team 2011, S. 16; Clarke 2013, S. 12; The Scottish Government et al. 2014, S. 39)	X	-	X	-	-
1.2.18. Portfoliooptimierung: Das Unternehmen hat Portfoliooptimierungsmodelle eingeführt, die verfügbare Ressourcen und Echtzeitmärkte beinhalten.	(SGMM Team 2011, S. 50)	X	-	-	-	-
1.2.19. Investmentprozess: Zusammenarbeitende Departements, Behörden und Organisationen haben Investment-Management-Prozesse etabliert (z. B. Joint Budgeting for Programms).	(The Scottish Government et al. 2014, S. 33)	-	-	X	-	-
1.2.20. Flexible Budgets: Budget passt sich an, um einen effektiven und transparenten System-weiten Ansatz erbringen zu können.	(The Scottish Government et al. 2014, S. 12)	-	-	X	-	-
1.2.21. Budgetvergabe: Budgets werden anhand einer ganzheitlichen Sicht vergeben.	(The Scottish Government et al. 2014, S. 40)	-	-	X	-	-
Legende: X enthalten; - nicht enthalten; E=Energy; M=Manufacturing; S=Smart City; T=Tourism						

Tabelle 47: Gestaltungsziele des Gestaltungsbereichs Funding and Investment des DPMM

6.2.1.3 Gestaltungsbereich Business Models

Der Gestaltungsbereich *Business Models* wiederum umfasst Gestaltungsziele, die sich mit notwendigen Veränderungen an oder Einführung von neuen Geschäfts-

modellen befassen. Als Geschäftsmodell (engl. *Business Model*) wird „eine modellhafte Repräsentation der logischen Zusammenhänge, wie eine Organisation bzw. Unternehmen Mehrwert für Kunden erzeugt und einen Ertrag für die Organisation sicher kann“ (Grösser 2018, o. S.) verstanden.

Es existiert aufgrund seines unklaren Ursprungs, unterschiedlicher Disziplin-Verständnisse und einer Verschiebung der Konnotation über die Jahre kein einheitliches Verständnis darüber, was ein Geschäftsmodell tatsächlich beinhaltet (Bieger und Reinhold 2011, S. 14–16). Es lassen sich jedoch verschiedene grundlegende Elemente identifizieren (Gassmann et al. 2020, S. 8–9):

- die relevanten zu adressierenden Kundensegmente (*Wer*),
- das Nutzenversprechen für die Kundenbedürfnisbefriedigung und damit die angebotenen Leistungen (*Was*),
- die Wertschöpfungskette der Leistungserbringung inklusive notwendiger Ressourcen (*Wie*) und
- die Ertragsmechanik der Werterzielung (*Wert*).

Dabei wird der Begriff des Geschäftsmodells gelegentlich synonym mit dem Begriff der Strategie verwendet (Bieger und Reinhold 2011, S. 23). Während sich die Strategie jedoch u. a. mit der Erzielung eines Wettbewerbsvorteils und damit der Abgrenzung zur Konkurrenz befasst, wird die Wettbewerbssituation im Geschäftsmodell nicht berücksichtigt (siehe auch grundlegende Merkmale). Stattdessen wird auf Kooperationen zur Erzielung eines höheren Kundenwerts fokussiert (siehe Merkmal Wertschöpfungskette) (Grösser 2018, o. S.; Bieger und Reinhold 2011, S. 23).

Auch Aspekte der Finanzierung werden eher der strategischen Planung verordnet und finden sich in Geschäftsmodellen eher am Rande, da diese stattdessen die Ertragsmechanismen und -quellen thematisieren (siehe Merkmal Wert) (Bieger und Reinhold 2011, S. 23).

Die Strategie bildet daher „den Bezugsrahmen für die Entwicklung und Ausgestaltung eines Geschäftsmodells [...], sodass das Geschäftsmodell] eine Konkretisierung der realisierten Strategie hinsichtlich ausgewählter Elemente des Geschäftsmodellansatzes [darstellt]“ (Bieger und Reinhold 2011, S. 25).

Gleichzeitig stellt das Geschäftsmodell ein Intermediär zwischen Strategie und den Geschäftsprozessen bzw. dem Geschäftsprozessmodell dar, indem es Vorgaben für dieses liefert, wobei eine wechselseitige Beeinflussung der drei Konzepte existiert (Veit et al. 2014, S. 56).

Aus diesem Grund bildet das Geschäftsmodell im Rahmen der vorliegenden Arbeit einen von der Strategie und den Prozessen getrennten Gestaltungsbereich. Dementsprechend sind in diesem Gestaltungsbereich auch Gestaltungsziele, die die Kunden-Service- oder Kunden-Beziehungs-Modelle betreffen (siehe Merkmale Wer und Was), verordnet.

Obwohl die Kollaboration Teil des Geschäftsmodells darstellt (siehe Merkmal Wie), bildet die Thematik aufgrund ihres Umfangs einen eigenen Gestaltungsbereich der Dimension Stakeholder Management aus (siehe Kapitel 6.2.3).

In Tabelle 48 finden sich die identifizierten und konsolidierten Gestaltungsziele für den Gestaltungsbereich, ihre Ursprungsquelle und ihre originäre Anwendungsdomäne.

1.3. Business Models		Quellen	E	M	S	T
1.3.1.	Anpassung von bisherigen Geschäftsmodellen.	(Schumacher et al. 2016, S. 164)	-	X	-	-
1.3.2.	Neue Geschäftsmodell-Möglichkeiten , die sich aus den Capabilities digitalisierter Produkte ergeben, können angeboten werden	(SGMM Team 2011, S. 17)	X	-	-	-
1.3.3.	Komptabilität mit digitalen Geschäftsmodellen : Vorhandene Produkte und Services sind kompatibel mit den digitalen Geschäftsmodellen, was mit entsprechend hochrangigen Ressourcen unterstützt wird.	(Akdil et al. 2018, S. 74)	-	X	-	-
1.3.4.	As-a-service-Geschäftsmodelle wurden eingeführt und werden angeboten.	(Akdil et al. 2018, S. 74)	-	X	-	-
1.3.5.	Open-Data-Marktchancen : Neue Marktchancen werden durch eine offene Daten-Community erzeugt.	(The Scottish Government et al. 2014, S. 12)	-	-	X	-
1.3.6.	Fusionierung und Übernahmen : Prozesse für Fusionierungen und Übernahmen, die eine vorteilhaftere aufsichtsrechtliche Behandlung beinhalten, sind entwickelt.	(SGMM Team 2011, S. 16)	X	-	-	-
1.3.7.	Neue Customer-Service-Modelle werden ermöglicht (z. B. individuelle und personalisierte Verträge oder Service Level Agreements).	(SGMM Team 2011, S. 45)	X	-	-	-
1.3.8.	Granulare Marktoptionen : Ressourcen sind angemessen lieferbar und kontrollierbar, so dass das Unternehmen sich granulare Marktoptionen zu Nutzen machen kann (z. B. Locational Marginal Pricing).	(SGMM Team 2011, S. 51)	X	-	-	-
1.3.9.	Evaluation neuer Customer-Relationship-Modelle , z. B. Consumer-based Generation zusätzlich zur Utility-based Distribution im Energiesektor.	(SGMM Team 2011, S. 43)	X	-	-	-
1.3.10.	Ressourcen-Prüfung : Die für die Umsetzung notwendigen Ressourcen sind verfügbar.	(Schumacher et al. 2016, S. 164)	-	X	-	-
Legende: X enthalten; - nicht enthalten; E =Energy; M =Manufacturing; S =Smart City; T =Tourism						

Tabelle 48: Gestaltungsziele des Gestaltungsbereichs Business Models des DPMM

6.2.1.4 Zwischenevaluation des Teilergebnisartefaktes

Im Folgenden wird die Dimension Strategic and Financial Planning anhand des in Kapitel 6.1 dargereichten Vorgehens teilevaluiert. Dabei werden aufgrund des Umfangs und getrennten Inhalte die Gestaltungsbereiche einzeln betrachtet.

Für den Gestaltungsbereich **Strategy Development** konnten acht Gestaltungsziele identifiziert werden, die sich vor allem mit der (Weiter-)Entwicklung von Strategie/Roadmap/Vision und deren Einfluss auf andere Bereiche befassen.

Die meisten Gestaltungsziele entstammen mindestens zwei der vier Anwendungsdomänen. Das Gestaltungsziel *Stakeholder-Kooperation* (1.1.4) zur gemeinsamen Visions-, Strategie- und Roadmap-Entwicklung findet sich dabei sogar in drei der vier Anwendungsdomänen wieder und betont dadurch die Notwendigkeit der frühen Zusammenarbeit mit allen Stakeholdern. Strategie, Roadmap und Vision können, wie eingangs im Kapitel erläutert, zu gewissem Grad als Synonyme verstanden werden. Zusammengeführt können daher auch sie in drei der vier Anwendungsdomänen wiedergefunden werden, sodass die *Strategie-/Visions-/Roadmapentwicklung* (1.1.1, 1.1.2, 1.1.3) ebenfalls ein wichtiger Schritt für die Entwicklung digitalisierter Produkte darstellt.

Der Abgleich mit den Herausforderungen digitalisierter Produkte aus Kapitel 3.4 ergibt die Relevanz folgender Herausforderungen für den Gestaltungsbereich:

- (H1) Prüfung, inwieweit es sich bei dem digitalisierten Produkt um eine Brücke oder Hindernis zur Volldigitalisierung handelt
- (H2) Umgang mit etwaig neuen Wettbewerbern bzw. digitalen oder physischen Substituten

Die als Vorabüberlegung notwendige Analyse der Fragestellung, inwieweit das digitalisierte Produkte eine Brücke oder Hindernis zur Volldigitalisierung darstellt (H1), findet sich bisher nicht in den Gestaltungszielen wieder. Die geforderte gemeinsame Entwicklung der Strategie mit den Stakeholdern (1.1.4), die Abstimmung mit dem Geschäftsbedarf (1.1.5, 1.1.8) und die Berücksichtigung von sozialen, ökonomischen und ökologischen Zielen (1.1.3) können im optimalen Fall indirekt diese Fragestellung mitbeantworten. Unter nicht optimalen Voraussetzungen bliebe die Herausforderung allerdings unberücksichtigt und sollte daher als ergänzendes Gestaltungsziel mitaufgenommen werden:

1.1.9 Produktanalyse: Vergleichende Analyse einer Voll- und Teildigitalisierung wurde durchgeführt.
--

Eine Analyse potentieller Konkurrenz(-angebote) (H2) findet sich im Gestaltungsziel *Marktanalyse* (1.1.8). Lediglich eine Planung und Entwicklung von sich daraus

ergebenden Maßnahmen ist in dem Gestaltungsziel nicht explizit enthalten und sollte daher aus Gründen der Vollständigkeit inhaltlich ergänzt werden:

1.1.8 **Markanalyse:** Analyse potentieller Konkurrenz (Produkte, Projekte) und Planung von potentiellen Maßnahmen wurde durchgeführt.

Es ist darüber hinaus denkbar, das Gestaltungsziel zukünftig mit dem Gestaltungsziel der *Weiterentwicklung/Optimierung der Strategie* (1.1.7) zu verknüpfen, da das Gestaltungsziel *Weiterentwicklung/Optimierung* die Belegung der Wirkung auf die Wettbewerbsfähigkeit beinhaltet und damit auch etwaige Konkurrenz(-angebote) berücksichtigt werden müssten.

Auch ist es denkbar, dass es sich hierbei nicht um eine einmalige, sondern in regelmäßigen Abständen zu wiederholende Tätigkeit und damit ein etablierter Prozess darstellen sollte, da sich die Konkurrenzsituation auf dem Markt jederzeit ändern kann. Auch Änderungen am digitalisierten Produkt/Service-Angebot kann zu einer veränderten Konkurrenzsituation führen. Daher sollte dies Thema der Modellweiterentwicklung sein.

Für den nachfolgenden Gestaltungsbereich **Funding and Investment** konnten 21 Gestaltungsziele identifiziert werden, die sich mit der Ausgestaltung, Abstimmung und Optimierung von (Technologie-)Investitionen und Finanzierungen sowie deren Auswirkungen auch aus prozessorientierter Sicht befassen.

In vier Fällen entstammen die Gestaltungsziele zwei der vier Anwendungsdomänen, in allen übrigen Fällen nur jeweils einer Anwendungsdomäne. Das Reifegradmodell der Anwendungsdomäne Tourism bietet wiederum kein einziges Gestaltungsziel für diesen Gestaltungsbereich an. Bei näherer Betrachtung lässt sich kein eindeutiges Muster erkennen, ob die Anwendungsdomänen z. B. einen spezifischen Fokus bei diesen Gestaltungszielen besitzen. Dieses könnte in einem solchen Fall auf eine Domänen-spezifität hindeuten.

Für den Gestaltungsbereich konnten folgende in Zusammenhang stehende Herausforderungen digitalisierter Produkte aus Kapitel 3.4 identifiziert werden:

- (H1) Abschätzung von Aufwand/Kosten einerseits und hinzugefügter Mehrwert/Reichweite andererseits
- (H2) Verursachung hoher Kosten für Ressourcen und Strukturen zur Entwicklung, Ausführung und Wartung kontextintensiver Systeme

Ein Abgleich zeigt, dass beide Herausforderungen (H1+H2) durch die verschiedenen Gestaltungsziele des Bereichs abgedeckt sind: So sind in den Gestaltungszielen u. a. Kosten/-Nutzen-Analysen (1.2.2), Optionen geteilter Investitionen bzw.

Investitionsportfolios mit anderen Stakeholdern (1.2.8, 1.2.15, 1.2.16), die Etablierung von Business Cases (1.2.13) oder die Identifizierung und Nutzung von Skaleneffekten (1.2.11) berücksichtigt, die bei der Kosten- bzw. Aufwandreduzierung für das Unternehmen helfen können. Daher sind Ergänzungen um weitere Gestaltungsziele oder die Anpassung vorhandener Gestaltungsziele anhand dieser Herausforderungen für diesen Gestaltungsbereich nicht notwendig.

Für den nachfolgenden und abschließenden Gestaltungsbereich **Business Models** konnten zehn Gestaltungsziele identifiziert werden, die sich mit der Gestaltung und Kombination (neuer) Geschäftsmodelle sowie Customer-Service- und Customer-Relationship-Modelle befassen.

Dabei konnte kein Gestaltungsziel in mehreren Domänen gleichzeitig identifiziert werden, wenngleich alle Domänen – mit Ausnahme der Tourism-Domäne – Ziele für den Gestaltungsbereich bereitstellen. Die grundlegende Thematik der Geschäftsmodelle ist daher für (fast) alle Domänen relevant.

Die Hälfte der Gestaltungsziele entstammen ausschließlich der Anwendungsdomäne *Energy*. Anzumerken sei hierbei, dass das Energy-Reifegradmodell des SGMM TEAM (2011) im Vergleich zu den anderen Reifegradmodellen sehr umfangreich aufgestellt ist. Daher weisen die aus dem Modell stammenden Gestaltungsziele einen im Vergleich deutlicheren Domänenbezug auf, als dies bei den anderen Modellen/Anwendungsdomänen der Fall ist. So spezifiziert das Modell beispielsweise die Nutzung *granularer Marktoptionen* (1.3.8) oder *Fusionierungen* (1.3.6) für eine vorteilhaftere aufsichtsrechtliche Behandlung. Durch weitere Modell-Evaluation lässt sich zeigen, inwieweit diese Gestaltungsziele auf andere Domänen übertragbar sind oder ggf. als domänen-spezifisch gekennzeichnet werden müssten.

Für den Gestaltungsbereich konnten folgende in Zusammenhang stehende Herausforderungen digitalisierter Produkte aus Kapitel 3.4 identifiziert werden:

- (H1) Gestaltung neuer Geschäftsmodelle und Management Systeme (Konzepte, Methoden, Frameworks);
- (H2) die Gestaltung und Sicherstellung des Nutzen-/Wertversprechens;
- (H3) die Zusammenarbeit mit Kooperationspartnern zur Ausweitung des Ökosystems und die dafür notwendige Koordination, Akquise und Geschäftsmodelle;
- (H4) die überhöhten Erwartungen der Nutzer;
- (H5) die schlechte Zahlungsbereitschaft für digitale Erweiterungen durch die Nutzer.

Zu beachten ist hier, dass die Herausforderung Überschneidungen untereinander sowie zu den Gestaltungsdimensionen *Organization and Governance* (Kapitel 6.2.2) und *Stakeholder Management* (Kapitel 6.2.3) aufweisen.

Die Herausforderung der Gestaltung neuer Geschäftsmodelle (H1) ist in den Gestaltungszielen durch die Anpassung von Geschäftsmodellen (1.3.1) und Schaffung neuer Geschäftsmodell-Möglichkeiten (1.3.2) sowie durch verschiedene Gestaltungsziele auf einer geringeren Abstraktionsebene (z. B. As-a-Service-Einführung) weitestgehend abgedeckt.

In Bezug auf die Herausforderung der Gestaltung neuer Managementsysteme (H1) ist zunächst festzuhalten, dass ein Managementsystem sich als „*Satz zusammenhängender oder sich gegenseitig beeinflussender Elemente einer Organisation [...], um Politiken [...], Ziele [...] und Prozesse [...] zum Erreichen dieser Ziele festzulegen*“ (DIN EN ISO 9000:2015, S. 36) versteht. Daher kann ein Managementsystem die ganze Organisation oder nur bestimmte Funktionen oder Bereiche dieser umfassen wie z. B. Qualitätsmanagement oder Umweltmanagement. Ferner kann ein Managementsystem auch die Organisationsstruktur (inkl. Rollen und Verantwortlichkeiten) sowie Prozesse, Praktiken oder Ziele, etc. als Elemente beinhalten (DIN EN ISO 9000:2015, S. 36).

Explizit ist demnach die Gestaltung eines neuen Managementsystems (H1) nicht in den Gestaltungszielen enthalten. Jedoch werden durch die Dimensionen und Gestaltungsbereiche des DPMM entsprechende Managementsysteme tangiert: z. B. durch

- die Forderung der Etablierung eines *Multi-Partner-Governance-Modells* (2.2.1) im Gestaltungsbereich *Governance Model* der Dimension *Organization and Governance* (Kapitel 6.2.2),
- die *Verbesserung der Prozesse* durch die Dimension *Organizational Processes* (Kapitel 6.2.4) oder
- die Zielausgestaltung durch Festlegung einer *Strategie/Vision/Roadmap* (1.1.1-1.1.3) in dieser Dimension.

Das grundsätzliche Fehlen entsprechender Konzepte, Methoden und Frameworks für die Ausgestaltung der Geschäftsmodelle und Managementsysteme in der Praxis ist dennoch dadurch nicht abgedeckt. Da es sich hierbei um den Best-Practice-Bereich handelt – also der Klärung von Fragen wie z. B.: *Wie entwickle ich die Geschäftsmodelle für digitalisierte Produkte* –, kann dieser Aspekt nicht im DPMM als Gestaltungsziel aufgegriffen werden. Das DPMM stellt allerdings an sich eine konzeptuelle Unterstützung der Entwicklung dar und leistet durch seine Gesamtheit einen Beitrag zur Begegnung dieser Herausforderung.

Die Herausforderung der *Koordination, Akquise und Business Modelle für die Zusammenarbeit mit neuen Kooperationspartnern* (H3) überschneidet sich inhaltlich mit der ersten Herausforderung. Während die *Gestaltung neuer Geschäftsmodelle* für die Zusammenarbeit mit Kooperationspartnern abgedeckt ist (siehe Abdeckung H1), ist die damit in Zusammenhang stehende *Koordination und Gewinnung neuer Partner* (H3) nicht durch die Gestaltungsziele vorgesehen. Dieser Teilbereich der Herausforderung findet jedoch in den nachfolgenden Gestaltungsdimensionen und -zielen Berücksichtigung, wie z. B. im Gestaltungsziel *Aufbau zahlreicher Partnerschaften* im *Stakeholder Management* (siehe Kapitel 6.2.3).

Dagegen findet sich für die Herausforderungen H2 (*Nutzen-/Wertversprechen gestalten*), H4 (*überhöhte Erwartungen*) und H5 (*schlechte Zahlungsbereitschaft*) keine direkte Entsprechung in den Gestaltungszielen. Die ursprünglichen Reifegradmodelle betonen allerdings wiederkehrend die Notwendigkeit der engen Kooperation mit allen Stakeholdern in allen Bereichen und stellten hierfür zahlreichen Gestaltungsziele in allen Dimensionen und Bereichen zur Verfügung, wodurch indirekt den drei Herausforderungen entgegengewirkt werden kann.

Es steht daher zu Diskussion, inwieweit es notwendig ist, diese drei Herausforderungen noch einmal durch Ergänzung von neuen Gestaltungszielen in diesem Gestaltungsbereich explizit zu adressieren. Dabei bietet die Herausforderung der *Gestaltung und Sicherstellung des Nutzen-/Wertversprechens* (H2) am meisten Potential, da es sich hierbei um einen konkreten, aus Unternehmenssicht steuerbaren, langfristigen Aspekt handelt, der gleichzeitig die anderen beiden Herausforderungen mitbeinhalten kann. Daher sollte das DPMM zumindest um das folgende Gestaltungsziel erweitert werden:

1.3.11 Value Proposition : Gestaltung und Sicherstellung des Nutzen- bzw. Wertversprechens.
--

6.2.2 Dimension Organization and Governance des DPMM

Die Dimension *Organization and Governance* umfasst alle Themen bzgl. der Gestaltung der Organisationsstruktur und Organisationskultur sowie die Entwicklung eines Governance-Modells (siehe Kapitel 5.2.3). Die Bereichsmusteranalyse bestätigte dabei, dass es sich auch gleichzeitig um die Gestaltungsbereiche der Dimension handelt.

Darüber hinaus konnte durch die Bereichsmusteranalyse allerdings auch Gestaltungsziele identifiziert werden, die sich in einen Themenbereich *Rolle des Unternehmens in der Gesellschaft* zusammenführen lassen. Daraus ergibt sich für die Dimension die Gliederung in die folgenden Gestaltungsbereiche: (1) *Organizational Structure and Culture*; (2) *Governance Model*; (3) *Organizational Role*.

Im Folgenden werden diese Gestaltungsbereiche inhaltlich voneinander abgegrenzt.

6.2.2.1 Gestaltungsbereich Organizational Structure and Culture

2.1. Organizational Structure and Culture	Quellen	E	M	S	T
2.1.1. IT-Open-Mindedness der Mitarbeiter: Offenheit der Mitarbeiter gegenüber neuen Technologien bzw. Wertschätzung von IT im Unternehmen im Allgemeinen.	(Schumacher et al. 2016, S. 164)	-	X	-	-
2.1.2. Knowledge/Information Sharing mit Externen: Teilen von Wissen bzw. Informationen mit externen Stakeholdern (z. B. auf regionaler und nationaler Ebene zur schnellen Handhabung von Events und Preisstabilität im Energiesektor; oder über Investmentprioritäten/regulatorische Strategien/etc. als Grundlage für Beratungen von denen die größere Gruppe profitiert).	(SGMM Team 2011, S. 16 und 51; Schumacher et al. 2016, S. 164)	X	X	-	-
2.1.3. Innovationskultur: Etablierung einer Innovationskultur.	(Clarke 2013, S. 16)	-	-	X	-
2.1.4. Structural Transformation: Struktur des Unternehmens ist für Transformation geeignet bzw. Struktur lässt sich anpassen, um neue Unternehmungen, Produkte und Services zu unterstützen, die sich aus dem digitalisierten Produkt ergeben.	(SGMM Team 2011, S. 23; Akdil et al. 2018, S. 73-74)	X	X	-	-
2.1.5. Kollaboration mit Stakeholdern: Die Organisationsstruktur ermöglicht die Kollaboration mit Stakeholdern (z. B. durch integrierte Arbeitsabläufe, neue Kollaborationsstrategien, umfassendes externes Teilen von Informationen).	(SGMM Team 2011, S. 22)	X	-	-	-
2.1.6. Digitalisiertes Produkt als Kernkompetenz: Das digitalisierte Produkt stellt die Kernkompetenz des Unternehmens dar und ist damit fundamental für die Art und Weise wie jeder im Unternehmen arbeitet.	(SGMM Team 2011, S. 16)	X	-	-	-
2.1.7. Visibility und Control Capabilities: Management-Systeme und Unternehmensstrukturen sind fähig umfassenden Nutzen aus den gestiegenen Visibility und Control Capabilities zu ziehen.	(SGMM Team 2011, S. 22)	X	-	-	-
2.1.8. Dezentralisierte Echtzeit-Entscheidungsunterstützung: Als Resultat einer effizienten Organisationsstruktur und der gestiegenen Verfügbarkeit von Informationen durch das digitalisierte Produkt, kann die Entscheidungsfindung nah dort passieren, wo sie gebraucht wird (Verkürzung der Befehlskette und Erhöhung der Effizienz). Dabei sind dezentralisierte Echtzeit-Entscheidungsfindung, Echtzeitkorrekturen u. ä. nun verfügbar, ebenso wie Rollen, Verantwortlichkeiten und gut definierte Arbeitsprozesse zur Unterstützung der täglichen Aktivitäten. Die Autorität bei Entscheidungen ist klar definiert und notwendige Koordinationsinteraktionen sind dokumentiert und werden befolgt.	(SGMM Team 2011, S. 22)	X	-	-	-
2.1.9. Organisationsübergreifende Strukturen: Organisationsübergreifende Governance-, Budget- und Performanzmanagementstrukturen sind etabliert, um die Strategie und Vision umzusetzen.	(The Scottish Government et al. 2014, S. 33)	-	-	X	-

Legende: X enthalten; - nicht enthalten; E=Energy; M=Manufacturing; S=Smart City; T=Tourism

Tabelle 49: Gestaltungsziele des Gestaltungsbereichs Organizational Structure and Culture des DPMM

Der Gestaltungsbereich *Organizational Structure and Culture* umfasst alle Gestaltungsziele, die sich mit der Ausgestaltung der Aufbauorganisation des Unternehmens und die damit in Wechselwirkung stehende Organisationskultur befassen.

Die „Aufbauorganisation befasst sich mit der Gliederung von Unternehmungen in aufgabenteilige, funktionsfähige Teileinheiten sowie mit der Regelung von Kompetenz- und Unterstellungsverhältnissen“ (Krüger 2005, S. 144).

Die Ablauforganisation, die sich in der Regel durch die Geschäftsprozesse des Unternehmens ausdrückt (Krüger 2005, S. 144), wird in der Gestaltungsdimension *Organizational Processes* näher betrachtet, wobei grundsätzlich Aufbau- und Ablauforganisation in Wechselwirkung stehen (Allweyer 2005, S. 12–17).

In Tabelle 49 finden sich die identifizierten und konsolidierten Gestaltungsziele für den Gestaltungsbereich.

6.2.2.2 Gestaltungsbereich Governance Model

Der Begriff *Governance* ist weder in der Literatur noch in den Reifegradmodellen der Anwendungsdomänen eindeutig definiert. Er wird daher auch von vielen Frameworks wie z. B. Prince2 oder Six Sigma unterschiedlich umgesetzt (McGrath und Whitty 2015, S. 756–757; 2020, S. 974). Dementsprechend werden auch verschiedene weiterführende Begrifflichkeiten wie z. B. *Organizational Governance*, *Corporate Governance* oder *Project Governance* nicht trennscharf verwendet (McGrath und Whitty 2015, S. 764). Daher folgt eine Abgrenzung, um das Verständnis zu klären und damit die Zuordnung der Gestaltungsziele zu verdeutlichen.

Die linguistische Analyse von MCGRATH UND WHITTY (2015) und darauf aufbauend und ergänzend ihre Praxisinterviews in MCGRATH UND WHITTY (2020) erlauben eine Trennung der Begriffe: Governance ist hiernach „*the system by which an entity is directed and controlled*“ (McGrath und Whitty 2015, S. 781). Organizational Governance ist demnach „*the system by which an organisation is directed, controlled and held to account*“ (McGrath und Whitty 2015, S. 781).

Die Unterscheidung der beiden Begriffe liegt demnach in der konkreten Entitätsbenennung sowie dem Aspekt der *Accountability* (dt. Verantwortung, Rechenschaft), die der Organizational Governance explizit zugeschrieben wird. Analog zur Organizational Governance verstehen sich daher die Begriffe *Corporate* und *Project Governance*, die jeweils das Unternehmen oder das Projekt als Entität definieren (McGrath und Whitty 2015, S. 781).

Damit sagen die Governance-Begriffe zwar aus, was grundsätzlich getan wird, aber nicht wie. Dies wird unter dem Begriff der *Organizational Governance Arrangements* subsumiert, da sich Governance aus einem Arrangement verschiedener abstrakter Konzepte zusammensetzt (McGrath und Whitty 2015, S. 784; 2020, S. 977). Zu diesen Konzepten gehören (McGrath und Whitty 2020, S. 977):

- *die Entitäts-Struktur* (Teilkomponenten, Zwischenbeziehungen)
- *Positionen* (Rollen, Verantwortlichkeiten, Vergütungsstufe)
- festgeschriebene und nicht festgeschriebene *Regeln* (inkl. Maßnahmen, Vorgehen, Methodologien, Grundsätze)
- *Entscheidungsfindungsprozesse* (inkl. finanzieller Verantwortung und Genehmigungsprozesse)
- *Nachweis- und Bericht-Arrangements* (Finanzen, Fortschritt, Stakeholder, Zusicherungen, Audit, etc.)

Im Rahmen der Reifegradmodelle für Anwendungsdomänen digitalisierter Produkte lässt sich Folgendes in Bezug auf Governance feststellen:

Der Smart-City-Ansatz von THE SCOTTISH GOVERNMENT ET AL. (2014) erwähnt lediglich die Notwendigkeit eines Governance Models ohne dieses näher zu differenzieren.

Der Smart-City-Ansatz von CLARKE (2013, S. 8) wiederum versteht Governance als „*structure for implementing change at the city level*“ mit den Governance Arrangements: *Organization, Budgeting* und *Performance Measures*. Damit sieht das Verständnis von CLARKE (2013, S. 8) einen reduzierten Satz an Arrangements und die Ergänzung von Performance Measures vor.

Auch der Ansatz des SGMM TEAM (2011, S. 15) der Domäne Energy führt einen reduzierten Satz an Arrangements für die Ausgestaltung eines Governance-Modells an. Diese sind Rollen, Prozesse und Werkzeuge für das Smart Grid Management und die Entscheidungsfindung. Demzufolge unterscheiden sich die Arrangements von CLARKE (2013, S. 8) und ergänzen die allgemeinen Arrangements-Konzepte um Werkzeuge. Dabei wird das Governance-Modell als Grundlage für die Verantwortung der höheren Führungsebene das Smart Grid Management und die Entscheidungsfindung zu beaufsichtigen, zu leiten und zu beraten verstanden (SGMM Team 2011, S. 15).

Umfassender sind dagegen die Arrangements, die das Governance-Verständnis von AFONSO ET AL. (2015, S. 233) in ihrem Smart-City-Ansatz widerspiegeln:

„Governance can be summarized as a set of processes, policies, laws, regulations and institutions that regulate the way that public resources and services are managed.“

Die anderen Reifegradmodelle weisen keine explizite Forderung nach Governance bzw. einem Governance Modell auf, beinhalten aber Aspekte, die die Governance (Arrangements) betreffen wie z. B. die Gestaltung von Organisationsstrukturen.

Es zeigt sich also, dass die Reifegradmodelle digitalisierter Produkte Governance implizit oder explizit fordern, sich aber in etwaig vorhandenen Definitionen unterscheiden. Daher wird sich im Folgenden an dem Verständnis von McGRATH UND WHITTY (2015) bzw. McGRATH UND WHITTY (2020) orientiert, das die größte Abdeckung aufweist.

Der Gestaltungsbereich *Governance Model* des DPMM beinhaltet somit alle Gestaltungsziele, die die Governance oder die Governance Arrangements für die Entwicklung digitalisierter Produkte betreffen. Einige Teil-Arrangements wie z. B. die Organisationsstruktur müssen jedoch aufgrund ihres Umfangs in eigene Gestaltungsbereiche ausgelagert werden. Daher umfasst dieser Gestaltungsbereich vor allem die Ausgestaltung eines Governance-Modells im Allgemeinen.

In Tabelle 50 finden sich die identifizierten und konsolidierten Gestaltungsziele für den Gestaltungsbereich, ihre Ursprungsquelle sowie ihre Ursprungsdomäne.

2.2. Governance Model		Quellen	E	M	S	T
2.2.1. Multi-Partner-Governance-Modell:	Entwicklung eines transparenten, Multi-Partner-Governance-Modells für das Management und die Entwicklung von Rollen, Prozesse und Werkzeuge für die Entscheidungsfindung bzgl. der digitalisierten Produkte, bei dem die Service-Nutzer starke Einflussnehmer sind.	(SGMM Team 2011, S. 15; The Scottish Government et al. 2014, S. 12; Lim et al. 2019, o. S.)	X	-	X	X
2.2.2. Abgleich mit Vision:	Governance-Strukturen sind mit der Vision abgeglichen.	(Clarke 2013, S. 16)	-	-	X	-
2.2.3. Innovationssystem:	Leadership und Governance-Modell fördern ein Innovationssystem, das neue Kombinationen der Service-Delivery und größere Effektivität bzgl. der Auswirkungen auf strategischen Prioritäten voranbringt.	(The Scottish Government et al. 2014, S. 12)	-	-	X	-
2.2.4. Arbeitsrechtlicher Vorschriften	werden beachtet.	(Schumacher et al. 2016, S. 164)	-	X	-	-
2.2.5. Standards:	Eignung technologischer Standards wird überprüft.	(Schumacher et al. 2016, S. 164)	-	X	-	-
2.2.6. Eigentumsrechte:	Schutz intellektuellen Eigentums.	(Schumacher et al. 2016, S. 164)	-	X	-	-
2.2.7. Verantwortlichkeiten:	Leadership- und Governance-Modelle entwickeln sich hinsichtlich geteilter (Budget-)Verantwortlichkeit für die Erbringung (systemweiter) Ergebnisse weiter.	(The Scottish Government et al. 2014, S. 12)	-	-	X	-
Legende: X enthalten; - nicht enthalten; E=Energy; M=Manufacturing; S=Smart City; T=Tourism						

Tabelle 50: Gestaltungsziele des Gestaltungsbereichs Governance Model des DPMM

6.2.2.3 Gestaltungsbereich Organizational Role

Der Gestaltungsbereich *Organizational Role* umfasst alle Gestaltungsziele, die sich mit der Positionierung des Unternehmens in der Gesellschaft befassen, welche sich wiederum aus der Entwicklung digitalisierter Produkte ergibt oder dadurch angestrebt wird. Ein Beispiel hierfür ist die Übernahme der Führungsrolle in Bezug auf Sicherheit in der jeweiligen Anwendungsdomäne (SGMM Team 2011, S. 10).

In Tabelle 51 finden sich die identifizierten und konsolidierten Gestaltungsziele für den Gestaltungsbereich sowie ihre ursprüngliche Quelle und Anwendungsdomäne.

2.3. Organizational Role	Quellen	E	M	S	T
2.3.1. Industrieleader: Das Unternehmen wird als Industrieleader anerkannt. Es übernimmt die Führungsrolle in Industrie-Konsortien und Public-Private-Partnerschaften.	(SGMM Team 2011, S. 10 und 40)	X	-	-	-
2.3.2. Leader in Information Sharing, Standards und Best Practices: Das Unternehmen übernimmt eine Führungsrolle im Industrie-weitem Teilen von Informationen und der Entwicklung von Standards und Best Practices.	(SGMM Team 2011, S. 10 und 45)	X	-	-	-
2.3.3. Treiber von offenen Standards: Das Unternehmen treibt die industrielle Entwicklung und Einführung von offenen Standards voran (z. B. für Interoperability oder Sicherheit).	(SGMM Team 2011, S. 37; Clarke 2013, S. 16)	X	-	X	-
2.3.4. Security Leader: Das Unternehmen übernimmt eine Führungsrolle in gemeinschaftswerten Antworten auf Sicherheitsfragen.	(SGMM Team 2011, S. 10)	X	-	-	-
2.3.5. Resilienz-Leader: Das Unternehmen ist führend in der Entwicklung und Förderung von industrieweiten Resilienz-Best-Practices und/oder Technologien zum Schutz der nationalen kritischen Infrastruktur.	(SGMM Team 2011, S. 56)	X	-	-	-
Legende: X enthalten; - nicht enthalten; E=Energy; M=Manufacturing; S=Smart City; T=Tourism					

Tabelle 51: Gestaltungsziele des Gestaltungsbereichs Organizational Role des DPMM

6.2.2.4 Zwischenevaluation des Teilergebnisartefaktes

Im Folgenden wird die Dimension *Organization and Governance* anhand des in Kapitel 6.1 dargereichten Vorgehens teilevaluiert. Dabei werden aufgrund des Umfangs und getrennten Inhalte die Gestaltungsbereiche einzeln betrachtet:

Für den Gestaltungsbereich **Organizational Structure and Culture** konnten neun Gestaltungsziele identifiziert werden, die sich mit der Gestaltung einer offenen, innovativen, adaptiven und kollaborativen Unternehmenskultur und -struktur befassen.

Die meisten Ziele entstammen der *Energy*-Domäne, während das Reifegradmodell der *Tourism*-Domäne für den Gestaltungsbereich keine Gestaltungsziele anbietet. Eine besondere Betonung eines oder mehrere Ziele durch Erwähnung in mehreren Domänen findet sich kaum. Lediglich die Gestaltungsziele *Knowledge/Information Sharing mit Externen* (2.1.2) und *Structural Transformation* (2.1.4) finden sich

jeweils in zwei der vier Anwendungsdomänen wieder. Gleichzeitig zeigt sich, dass Veränderungen in der Organisationsstruktur und -kultur in fast allen Domänen, und insbesondere in den am weitesten entwickelten Reifegradmodellen, als grundlegende Notwendigkeit identifiziert wird.

Der Abgleich mit den Herausforderungen digitalisierter Produkte aus Kapitel 3.4 ergibt die Relevanz folgender Herausforderungen für den Gestaltungsbereich:

- (H1) Notwendige Veränderungen in der Organisationsstruktur, z. B. durch Integration (neuer) Kooperationspartner oder Schaffung neuer Bereiche aufgrund der längeren Kundenbetreuung
- (H2) Zusammenführung unterschiedlicher Unternehmenskulturen zwischen vielen verschiedenen Stakeholdern
- (H3) Zusammenarbeit mit anderen Anbietern insb. deren Koordination.

Notwendige Veränderungen in der Organisationsstruktur (H1) werden durch das ganze Spektrum der Gestaltungsziele im betrachteten Gestaltungsbereich abgedeckt und durch andere Gestaltungsbereiche wie z. B. *Governance Model* oder andere Dimensionen wie z. B. *Stakeholder Management* (Kapitel 6.2.3) ergänzt.

Die Zusammenführung unterschiedlicher Unternehmenskulturen verschiedener Stakeholder (H2) findet sich lediglich indirekt im Gestaltungsziel *Kollaboration mit Stakeholdern* (2.1.5) wieder, wobei hier die Kultur nicht explizit genannt wird. Auch in den anderen Dimensionen, wie z. B. dem sich in diesem Punkt inhaltlich überschneidenden *Stakeholder Management* (Kapitel 6.2.3), wird dieser Punkt nicht explizit berücksichtigt. Es wird daher empfohlen, den Gestaltungsbereich um ein neues Gestaltungsziel zu ergänzen:

2.1.10. **Unternehmenskultur:** Zusammenführung unterschiedlicher Unternehmenskulturen.

Die Herausforderung der Zusammenarbeit mit anderen Anbietern, insbesondere deren Koordination (H3), überschneidet sich inhaltlich mit den anderen Herausforderungen und wird hier ebenfalls durch das Gestaltungsziel *Kollaboration mit Stakeholdern* (2.1.5) in Teilen adressiert. Da die Herausforderung noch in anderen Gestaltungsbereichen (z. B. *Governance Model*) und Dimensionen (z. B. *Stakeholder Management* Kapitel 6.2.3) adressiert wird, besteht hier kein weiterer Handlungsbedarf.

Für den Gestaltungsbereich **Governance Model** konnten sieben Gestaltungsziele identifiziert werden, die sich mit der Ausgestaltung eines Multi-Partner-Governance-Modells befassen. Das mit der Vision abgegliche Modell dient auch zum Schutz intellektuellem Eigentums, zur Festlegung von Verantwortlichkeiten und zur Förderung von Innovation.

Die meisten Gestaltungsziele entstammen der *Smart-City*- und der *Manufacturing*-Domäne. Die *Entwicklung eines Governance-Modells in Zusammenarbeit mit den Stakeholdern* (2.2.1) wird dabei in drei der vier Anwendungsdomänen gefordert und verdeutlicht damit die Notwendigkeit der Kooperation. Ausnahme stellt hierbei lediglich die Manufacturing-Domäne dar, die dieses Gestaltungsziel nicht explizit anführt. Allerdings geben die Modelle der Domäne Gestaltungsziele vor, die sich der Governance (Arrangements) zuordnen lassen, wie z. B. der Schutz intellektuellen Eigentums oder die Beachtung arbeitsrechtlicher Vorschriften.

Der Abgleich mit den Herausforderungen digitalisierter Produkte aus Kapitel 3.4 ergibt die Relevanz folgender Herausforderungen für den Gestaltungsbereich:

- (H1) Klärung von Eigentümerschaft, Urheberrecht, Rollen, Regeln und Normen
- (H2) Neugestaltung von Rollen im Rahmen des Stakeholder Managements
- (H3) Zusammenarbeit mit anderen Anbietern insb. deren Koordination

Die Klärung von Eigentümerschaft und Urheberrecht (H1) ist im Gestaltungsziel *Schutz intellektuellen Eigentums* (2.2.6) enthalten. Die Formulierung des Ziels könnte dabei jedoch präziser erfolgen, um die Herausforderung gezielter abzudecken, daher wird eine Ergänzung des Ziels vorgeschlagen:

2.2.6 **Eigentumsrechte:** Schutz intellektuellen Eigentums u.a. durch Klärung von Eigentümerschaft und Urheberrechten.

Die Herausforderung der Klärung von Regeln und Normen (H1) wird durch die Entwicklung einer Governance bzw. eines Governance Modells an sich bereits begegnet (vgl. Definition Governance in Kapitel 6.2.2.2) und damit durch alle Gestaltungsziele des Bereichs. Im Kern wird sie aber durch das Gestaltungsziel der Forderung nach der Entwicklung eines *Multi-Partner-Governance-Modells* (2.2.1) abgedeckt.

Die Neugestaltung und Klärung von Rollen (H2) ist durch die Gestaltungsziele *Multi-Partner-Governance-Modell* (2.2.1) und *Verantwortlichkeiten* (2.2.7) größtenteils abgedeckt. Darüber hinaus bietet die nachfolgende Dimension Stakeholder Management (Kapitel 6.2.3) weitere Gestaltungsziele zur Abdeckung dieser Herausforderungen an, wie z. B. die *Gestaltung von Partnerschaften* (3.2.4).

Die Herausforderung der Zusammenarbeit mit anderen Anbietern (H3), insbesondere deren Koordination, überschneidet sich inhaltlich mit den vorangegangenen Herausforderungen und wird durch die Forderung nach der *Entwicklung eines Multi-Partner-Governance-Modells* (2.2.1) in Teilen adressiert. Da diese spezifische Herausforderungen noch in anderen Gestaltungsbereichen und Dimensionen

(siehe Stakeholder Management Kapitel 6.2.3) adressiert wird, besteht hier kein weiterer Handlungsbedarf.

Für den Gestaltungsbereich **Organizational Role** konnten fünf Gestaltungsziele identifiziert werden, die sich mit der Rolle des Unternehmens, z. B. in den Bereichen Sicherheit, Resilienz oder als Treiber offener Standards, befassen.

Diese entstammen mit einer Ausnahme ausschließlich der *Energy*-Domäne. Lediglich das Gestaltungsziel 2.3.3 (Unternehmen treibt die industrielle Entwicklung und Einführung von offenen Standards voran) findet sich auch in der Smart-City-Domäne wieder. Das Energy-Modell ist eines der umfangreichsten Modelle der Analyse und stellt gleichzeitig den de-facto Standard für die Domäne dar. Dies kann erklären, warum es weiterführende Ziele enthält, die in den anderen Domänen (noch) keine Berücksichtigung gefunden haben. Gleichzeitig zeigt die Erwähnung eines der Ziele in der Smart-City-Domäne, dass die Ziele zukünftig auch für andere Domänen relevant sein können.

Der Abgleich mit den Herausforderungen digitalisierter Produkte aus Kapitel 3.4 ergab keine Überschneidung. Es konnten somit keine Herausforderungen identifiziert werden, die die Positionierung des Unternehmens in der Gesellschaft adressieren. Die folgenden Herausforderungen tangieren jedoch die Gestaltungsziele dieses Gestaltungsbereichs, weswegen sie im Folgenden diskutiert werden:

- (H1) Fehlende Referenzprojekte, Konzepte, Anwendungsmöglichkeiten, Standards und Erfahrungen
- (H2) Sicherheit und Privatsphäre

Fehlende Referenzprojekte, Standards, etc. (H1) wird durch alle Gestaltungsziele des Bereichs begegnet. Die Entwicklung fehlender Standards und Best Practices ist in dem Gestaltungsbereich bis zu dem Grad vorgesehen, dass Unternehmen darin führend sind. Dies schließt auch explizit den Bereich Sicherheit (H2) (siehe Gestaltungsziele 2.3.3, 2.3.4, 2.3.5) mit ein, sodass beide Herausforderungen durch die Gestaltungsziele mitabgedeckt werden, auch wenn der Fokus des Gestaltungsbereichs ein anderer ist.

6.2.3 Dimension Stakeholder Management des DPMM

Die Dimension Stakeholder Management umfasst alle Themen bzgl. der *Kollaboration mit Stakeholdern* auf verschiedenen unternehmensinternen und -externen Ebenen. Ebenso Bestandteil sind die Entwicklung notwendiger Kompetenzen und Routinen aller Stakeholder (*Skill Development*) und Aufgaben der Führungsrolle des Managements (*Leadership*) (siehe Kapitel 5.2.3).

Die Bereichsmusteranalyse zeigte, dass diese auch die Gestaltungsbereiche der Dimension konstituieren. Ferner zeigte die Analyse, dass der bereits in Kapitel 5.2.3 ermittelte Gestaltungsbereich *Collaboration and Engagement* aufgrund des Umfangs an ermittelten Gestaltungszielen in zwei Bereiche aufgeteilt werden sollte: *Intra- and Cross-company Collaboration* und *Stakeholder Collaboration*.

Daher lässt sich die Gestaltungsdimension in die folgenden Gestaltungsbereiche gliedern: (1) *Leadership*; (2) *Intra- and Cross-company Collaboration*; (3) *Stakeholder Collaboration* und (4) *Skill Development*.

Im Folgenden werden die Gestaltungsbereiche der Dimension Stakeholder Management inhaltlich voneinander abgegrenzt.

6.2.3.1 Gestaltungsbereich Leadership

3.1. Leadership	Quellen	E	M	S	T
3.1.1. Umsetzung Strategie und Vision: Sicherstellung der effektiven und schnellen Umsetzung der digitalisierten Produkt-Strategie und -Vision durch die Führungskräfte. Hierfür haben diese die entsprechend dafür notwendigen Befugnissen über Funktionen und Geschäftsfelder hinweg sowie notwendige Kompetenzen und Engagement, um wettbewerbsfähig zu bleiben.	(SGMM Team 2011, 15 und 19; Clarke 2013, S. 8 und 16-17; Schumacher et al. 2016, S. 164)	X	X	X	-
3.1.2. Produkt-/Projekt-Unterstützung: Weitverbreitete Unterstützung für digitalisierte Produkte/Projekte innerhalb der Führung und über das weitere Geschäft.	(Akdil et al. 2018, S. 74)	-	X	-	-
3.1.3. Kommunikations- und Koordinations-Unterstützung: Führungskräfte erhalten Unterstützung (z. B. durch zentralisierte Innovation Groups), um die Vision mit externen Stakeholdern zu kommunizieren und zu koordinieren, die dann entsprechend (finanziell) unterstützt werden und deren Projekte mit den internen Stakeholdern abgestimmt sind.	(Clarke 2013, S. 16; Schumacher et al. 2016, S. 164)	-	X	X	-
3.1.4. Kommunikation der Vision: Die Vision und Handlungen zur Erreichung der Vision sowie der Strategie werden klar und konsistent gegenüber den Mitarbeitern und Nutzern kommuniziert (z. B. Aufzeigen von Vorteilen und Potentialen mittels Use-Case-Szenarios).	(SGMM Team 2011, S. 21 und 41; Clarke 2013, S. 16)	X	-	X	-
3.1.5. Innovationsökosystem fördern/leiten: Führungskräfte sind fokussiert darauf, ein Innovationsökosystem zu fördern und zu leiten.	(The Scottish Government et al. 2014, S. 40)	-	-	X	-
Legende: X enthalten; - nicht enthalten; E=Energy; M=Manufacturing; S=Smart City; T=Tourism					

Tabelle 52: Gestaltungsziele des Gestaltungsbereichs Leadership des DPMM

Der Gestaltungsbereich *Leadership* umfasst alle Gestaltungsziele, die sich mit den Kompetenzen und Verhalten der Führungskräfte in Bezug auf die Entwicklung der digitalisierten Produkte befassen. Eine Definition von Leadership wurde bereits in Kapitel 5.2.3 gegeben, sodass eine nähere Besprechung des Konzepts an dieser Stelle nicht notwendig ist. Grundsätzlich sind hierbei die Kompetenzen und Aufga-

ben des Managements gemeint, das sich als transformationale Führung vom klassischen Management durch die Kombination von weichen und harten Faktoren abgrenzt (Lies 2018, o. S.).

In Tabelle 52 finden sich daher die identifizierten und konsolidierten Gestaltungsziele für den Gestaltungsbereich sowie ihre ursprüngliche Quelle und Domäne.

6.2.3.2 Gestaltungsbereich Intra- und Cross-Company Collaboration

Der Gestaltungsbereich *Intra- and Cross-Company Collaboration* umfasst alle Gestaltungsziele, die sich mit der unternehmensinternen und unternehmensübergreifenden Zusammenarbeit befassen. Gegenstand sind dementsprechend nicht einzelne Stakeholdergruppen wie Nutzer oder Mitarbeiter, sondern Abteilungen, Organisationseinheiten oder Unternehmen.

3.2. Intra- and Cross-company Collaboration		Quellen	E	M	S	T
3.2.1. Abteilungsübergreifende Zusammenarbeit	(Anm.: keine weiteren Angaben durch die entsprechenden Quellen).	(Clarke 2013, S. 16; Schumacher et al. 2016, S. 164)	-	X	X	-
3.2.2. IT-Experten:	Zuordnung von IT-Experten zu jeder Abteilung in der operative Einheiten und IT-Einheiten zusammenarbeiten.	(Akdil et al. 2018, S. 73–74)	-	X	-	-
3.2.3. Unternehmensübergreifende Zusammenarbeit:	Abteilungen sind offen für unternehmensübergreifende Zusammenarbeit, um Verbesserungen voranzutreiben.	(Schumacher et al. 2016, S. 164; Akdil et al. 2018, S. 73–74)	-	X	-	-
3.2.4. Partnerschaften gestalten:	Aufbau zahlreicher Partnerschaften oder Neufindung traditioneller Partnerschaften.	(SGMM Team 2011, S. 16; Clarke 2013, S. 17; The Scottish Government et al. 2014, S. 12; Akdil et al. 2018, S. 71–74)	-	X	X	-
3.2.5. Kollaboration mit anderen Führungskräften	(anderer Städte, Unternehmen, etc.) an Lösungen für grenzüberschreitende Herausforderungen wie dem Klimawandel sowie Teilen von Best Practices.	(Clarke 2013, S. 15–16)	-	-	X	-
3.2.6. Branchenübergreifende Gruppen	wurden gebildet, um smarte und digitale Kollaborationsinvestments voranzutreiben.	(The Scottish Government et al. 2014, S. 33)	-	-	X	-
3.2.7. Neue Formen der Kollaboration	und des Teiles werden gefördert (inkl. der Wiederverwendung von Assets und Services zwischen Organisationen, Unterstützung für inter-organisationaler Arbeit, Einreichen gemeinsamer Bewerbungen um Mittel etc.).	(The Scottish Government et al. 2014, S. 40)	-	-	X	-
Legende:			X enthalten; - nicht enthalten; E=Energy; M=Manufacturing; S=Smart City; T=Tourism			

Tabelle 53: Gestaltungsziele des Gestaltungsbereichs Intra- and Cross-Company Collaboration des DPMM

In Tabelle 53 finden sich die identifizierten und konsolidierten Gestaltungsziele für den Gestaltungsbereich, sowie ihre Quelle und ursprüngliche Anwendungsdomäne.

6.2.3.3 Gestaltungsbereich Stakeholder Collaboration

Der Gestaltungsbereich *Stakeholder Collaboration* umfasst alle Gestaltungsziele, die sich mit der Kollaboration und Möglichkeiten des Engagements aller Stakeholder befassen. Er grenzt sich hierbei von dem vorangegangenen Gestaltungsbereich *Intra- und Cross-Company Collaboration* insofern ab, als das einzelne Stakeholdergruppen wie Nutzer betrachtet werden oder ein ganzheitlicher Stakeholderbegriff zum Einsatz kommt, der alle Stakeholdergruppen umfasst.

In Tabelle 54 finden sich die identifizierten und konsolidierten Gestaltungsziele für den Gestaltungsbereich, ihre Quelle und ursprüngliche Anwendungsdomäne.

3.3. Stakeholder Collaboration		Quellen	E	M	S	T
3.3.1.	Gemeinsame Entwicklung mit den Stakeholdern z. B. an einer Vision, innovativen technologischen Lösungen (Co-Development, Co-Creation), Kollaborationsstrategien, und damit Involvierung interner und externer Stakeholder an allen relevanten Aspekte des Geschäfts (ggf. verbunden Gewinnbeteiligung und Leistungsverträge).	(SGMM Team 2011, S. 10, 16 und 40; Clarke 2013, S. 16; The Scottish Government et al. 2014, S. 12 und 41; Lim et al. 2019, o. S.)	X	-	X	X
3.3.2.	Entwicklung von Stakeholder-Ökosystemen in Bezug auf spezifische Themen, zunächst mit internen Stakeholdern zur Bildung einer gemeinsamen Sprache, Ziele, gewünschten Ergebnissen, dann mit externen Stakeholdern.	(Clarke 2013, S. 16–17)	-	-	X	-
3.3.3.	Förderung inklusiver Engagement-Kanäle: Entwicklung von (digitalen) inklusiven und personalisierten Engagement-Modellen/Kanälen/Umgebungen, die Innovation und kollaborative Ansätze fördern.	(SGMM Team 2011, S. 23; The Scottish Government et al. 2014, S. 12, 39 und 41; Lim et al. 2019, o. S.)	X	-	X	X
3.3.4.	Dokumentation digitaler Engagement-Strategien: Digitale Engagement-Strategien sind dokumentiert und beinhalten, wie Partner die digitale Exklusion adressieren.	(The Scottish Government et al. 2014, S. 41)	-	-	X	-
3.3.5.	Vereinbarung digitaler Inklusionsstrategie: Eine digitale Inklusionsstrategie ist vereinbart, um die Nutzung digitaler Services durch Kundensegmente, denen es derzeit nicht möglich ist diese zu nutzen oder die nicht bereit sind diese zu nutzen, zu ermöglichen.	(The Scottish Government et al. 2014, S. 42)	-	-	X	-
3.3.6.	Gemeinsame Terminologie und Referenzmodell: Eine gemeinsame und geteilte Terminologie und Referenzmodell sind etabliert und vereinbart mit allen in der Umsetzung/Ausführung involvierten Stakeholdern.	(The Scottish Government et al. 2014, S. 33)	-	-	X	-
3.3.7.	Open-Data-Community: Open Data ist die Grundlage für Nutzer-Engagement um Innovation (z. B. neue Kombinationen der Service Delivery) und Transparenz zu ermöglichen, sowie neue Marktchancen zu generieren oder Alternativen zu öffentlichen Leistungserbringung zu schaffen.	(Clarke 2013, S. 8; The Scottish Government et al. 2014, S. 12)	-	-	X	-

3.3. Stakeholder Collaboration		Quellen	E	M	S	T
3.3.8.	Open Innovation (Anm.: keine weiteren Angaben durch die entsprechenden Quellen).	(Schumacher et al. 2016, S. 164; Lim et al. 2019, o. S.)	-	X	-	X
3.3.9.	Workshops/Konferenzen: Aktive Beteiligung an industriespezifischen Workshops und Konferenzen in Bezug auf Technologieherausforderungen betreffend das digitalisierte Produkt (z. B. zu Themen wie Interoperabilität, Sicherheit, Resilienz).	(SGMM Team 2011, S. 37)	X	-	-	-
3.3.10.	Weiterentwicklung von Industriestandards: Monitoring und aktive Beteiligung in Bemühungen der Gemeinschaft zur (Weiter-)Entwicklung von Industriestandards.	(SGMM Team 2011, S. 40)	X	-	-	-
3.3.11.	Vertragliche Vereinbarungen unterstützen Kollaborationen (z. B. Wettbewerbe, Events oder das Teilen gemeinsamer Assets).	(The Scottish Government et al. 2014, S. 40)	-	-	X	-
3.3.12.	Stakeholder Engagement ist multi-direktional und personalisiert.	(The Scottish Government et al. 2014, S. 42)	-	-	X	-
3.3.13.	Community-Engagement-Modelle (z. B. Co-Design/Co-Production) sind dokumentiert, um das Nutzergeführte Service Redesign zu maximieren.	(The Scottish Government et al. 2014, S. 42)	-	-	X	-
3.3.14.	Engagement-Pilot-Projekte: Einige Engagement-Pilot-Projekte für bestimmte Services unter der Nutzung digitaler Technologien wie z. B. Social Media wurden angestoßen.	(The Scottish Government et al. 2014, S. 41)	-	-	X	-
Legende: X enthalten; - nicht enthalten; E=Energy; M=Manufacturing; S=Smart City; T=Tourism						

Tabelle 54: Gestaltungsziele des Gestaltungsbereichs Stakeholder Collaboration des DPMM

6.2.3.4 Gestaltungsbereich Skill und Routine Development

Der Gestaltungsbereich *Skill und Routine Development* umfasst alle Gestaltungsziele, die sich mit notwendigen (zu erlernenden) Fähigkeiten und ggf. Routinen aller Stakeholdergruppen für die Entwicklung und den Einsatz digitalisierter Produkte befassen.

In Tabelle 55 finden sich die identifizierten und konsolidierten Gestaltungsziele für den Gestaltungsbereich, ihre Quelle und ursprüngliche Anwendungsdomäne.

3.4. Skill Development		Quellen	E	M	S	T
3.4.1.	Management-Skills: Entwicklung von notwendigen Management-Kompetenzen und -methoden insb. zur Umsetzung der Vision.	(Clarke 2013, S. 16; Schumacher et al. 2016, S. 164)	-	X	X	-
3.4.2.	Mitarbeiter IT-Skills: In allen Unternehmensbereichen sind digitale und analytische (IT-)Skills der Mitarbeiter auf neuestem Stand und entsprechenden digitalisierten Produkt-Projekten zugeordnet.	(Schumacher et al. 2016, S. 164; Akdil et al. 2018, S. 73–74)	-	X	-	-
3.4.3.	Open-Data-Skills: Unterweisung, wie die im offenen Zugriff stehenden Daten, z. B. durch Web Application Programming Interfaces (API), genutzt werden können, um Services zu entwickeln.	(Clarke 2013, S. 17)	-	-	X	-
3.4.4.	Mitarbeiter-Autonomie: Förderung der Autonomie der Mitarbeiter.	(Schumacher et al. 2016, S. 164)	-	X	-	-
3.4.5.	Kunden-Medienkompetenzen: Entwicklung digitaler (Medien-)Kompetenzen von Kunden.	(SGMM Team 2011, S. 43; The Scottish Government et al. 2014, S. 12; Schumacher et al. 2016, S. 164)	X	X	X	-
3.4.6.	Digitale Inklusion: Unterstützung oder alternative Vorkehrungen werden bereitgestellt, um Kunden aufgrund fehlender digitaler Kompetenzen nicht auszuschließen.	(The Scottish Government et al. 2014, S. 12)	-	-	X	-
3.4.7.	Aus-/Fortbildungsprogramme: Koordination von Aus- und Fortbildungsprogrammen, um die Capabilities digitalisierter Produkte auszuschöpfen.	(SGMM Team 2011, S. 22)	X	-	-	-
3.4.8.	Projekt- und Investitionsskills: Skills, die benötigt werden, um Projekte oder Investitionen abzuwickeln wurden abgebildet und Pläne zum Aufbau von Kapazitäten sind vorhanden.	(The Scottish Government et al. 2014, S. 33)	-	-	X	-
3.4.9.	Delivery Skills: Skills und Expertise zur Unterstützung der Abwicklung des digitalisierten Produkts sind auf allen Ebenen vorhanden.	(The Scottish Government et al. 2014, S. 33)	-	-	X	-
3.4.10.	Data Skills: Ressourcen mit spezifischen Daten-Skills werden aktiv entwickelt oder rekrutiert.	(The Scottish Government et al. 2014, S. 35)	-	-	X	-
Legende: X enthalten; - nicht enthalten; E=Energy; M=Manufacturing; S=Smart City; T=Tourism						

Tabelle 55: Gestaltungsziele des Gestaltungsbereichs Skill Development des DPMM

6.2.3.5 Zwischenevaluation des Teilergebnisartefaktes

Im Folgenden wird die Dimension *Stakeholder Management* anhand des in Kapitel 6.1 dargereichten Vorgehens teilevaluiert. Dabei werden aufgrund des Umfangs und getrennten Inhalte die Gestaltungsbereiche einzeln betrachtet:

Für den Gestaltungsbereich **Leadership** konnten fünf Gestaltungsziele identifiziert werden, die Aufgaben und Verantwortlichkeiten der Führungskräfte wie z. B. die Sicherstellung der Strategieumsetzung oder die Förderung eines Innovationsökosystems behandeln.

Die Ziele entstammen drei der vier Anwendungsdomänen. Lediglich die Anwendungsdomäne *Tourism* bietet für den Bereich keine Ziele an. Die *Sicherstellung der effektiven und schnellen Umsetzung von Strategie und Vision* (3.1.1) wird dabei von allen drei Domänen als notwendige Leadership-Aufgabe verstanden, wodurch die Notwendigkeit des Gestaltungsziels betont wird.

Der Abgleich mit den Herausforderungen digitalisierter Produkte aus Kapitel 3.4 ergab dagegen keine Überschneidung. Es konnte demnach keine Herausforderungen identifiziert werden, die den Gestaltungsbereich Leadership adressieren.

Lediglich die Notwendigkeit der Neugestaltung von Rollen im Rahmen des Stakeholder Managements im Allgemeinen könnte hierbei angeführt werden. Die Herausforderung erfährt durch die Ausgestaltung des Leaderships als eine Stakeholder-Rolle im Unternehmen eine entsprechende Teilabdeckung. Darüber hinaus findet sich die Herausforderung aber auch in anderen Gestaltungsbereichen wieder und wird im Folgenden weiter aufgegriffen.

Für den Gestaltungsbereich **Intra- und Cross-company Collaboration** konnten sieben Gestaltungsziele identifiziert werden, die sich mit der abteilungs-, unternehmens- und branchenübergreifenden Zusammenarbeit und Gestaltung von Partnerschaften befassen.

Hierbei bieten weder die *Tourism*-Domäne noch die *Energy*-Domäne Ziele für den Gestaltungsbereich an. Die Ziele dieses Bereichs entstammen daher nur der *Manufacturing*- und *Smart-City*-Domäne, die dabei Überschneidungen bei den Gestaltungszielen der *abteilungsübergreifenden Zusammenarbeit* (3.2.1) und beim *Aufbau zahlreicher Partnerschaften* (3.2.4) aufweisen.

Der Abgleich mit den Herausforderungen digitalisierter Produkte aus Kapitel 3.4 ergibt die Relevanz folgender Herausforderungen für den Gestaltungsbereich:

- (H1) Zwischenpartner, z. B. für Service-Aufgaben, sind teilweise oder vollständig ablösbar

- (H2) Zusammenarbeit mit anderen Anbietern (Koordination, Gewinnung, Business Modelle)

Bei der Herausforderung der Möglichkeit der Ablösung von Zwischenpartnern (H1) handelt es sich um eine komplexe Fragestellung, da es nicht nur um die Übernahme von Aufgaben und damit neuen Rollen geht, sondern auch um Investitionen in dafür ggf. notwendige Infrastruktur. Damit verbunden ist auch ein möglicher Verlust von Wissen der abgelösten Partner, die dieses wiederum der Konkurrenz zur Verfügung stellen könnten. Außerdem wird dadurch das grundsätzliche Partner-Netzwerk verringert, während gleichzeitig eine Heterogenität im Netzwerk notwendig ist, um die Generativität zu fördern (Yoo et al. 2010, S. 730; Porter und Heppelmann 2014a, S. 82).

Der Herausforderung wird durch das Gestaltungsziel *Partnerschaften gestalten* (3.2.4) begegnet, das die Neufindung traditioneller Partnerschaften inkludiert. Zukünftig sollte das DPMM allerdings berücksichtigen, dass die Lösung dieser Herausforderung weitaus komplexer ist, da hierbei viele verschiedene andere Gestaltungsbereiche (z. B. Investition- und Finanzierung) und Gestaltungsziele (z. B. Gestaltung der Kundenerfahrung) tangiert werden. Dementsprechend wird an dieser Stelle kein neues Gestaltungsziel ausformuliert, da die Herausforderung die Abhängigkeiten und den Abgleich der Dimensionen, Gestaltungsbereiche und Gestaltungszielen adressiert. Diese finden jedoch in dieser Modellversion noch keine Entsprechung.

Die Herausforderung der Zusammenarbeit mit anderen Stakeholdern (Koordination, Gewinnung, Business Modelle) (H2) wird durch verschiedene Gestaltungsziele des Gestaltungsbereich in Teilen begegnet. Für die Akquise werden z. B. Gestaltungsziele, die die *Gestaltung von Partnerschaften* (3.2.4) oder die *Bildung Branchen-übergreifender Gruppen* (3.2.6) betreffen, angeboten.

Die Herausforderung wurde darüber hinaus bereits im Gestaltungsbereich *Business Models* der Dimension *Strategic and Financial Planning* (Kapitel 6.2.1) und im Gestaltungsbereich *Organizational Structure and Culture* der Dimension *Organization and Governance* (Kapitel 6.2.2) in Teilen behandelt. Sie wird darüber hinaus erneut im nachfolgenden Gestaltungsbereich *Stakeholder Collaboration* aufgegriffen und dadurch im Ganzen abgedeckt, wodurch keine ergänzenden Gestaltungsziele notwendig sind.

Für den Gestaltungsbereich **Stakeholder Collaboration** konnten vierzehn Gestaltungsziele identifiziert werden, die sich mit der Stakeholder-Kollaboration durch verschiedene (inklusive) Engagement-Kanäle, bei der Entwicklung z. B. der Vision oder dem digitalisierten Produkt, befassen.

Die meisten Gestaltungsziele entstammen dabei der *Smart-City*-Domäne, wobei alle Domänen Gestaltungsziele für diesen Bereich aufweisen. Die Zusammenarbeit mit den Stakeholdern stellt demnach ein zentralen Aspekt für die erfolgreiche Entwicklung digitalisierter Produkte dar. Dies wird auch durch die hohe Anzahl an Gestaltungszielen in diesem Bereich betont. Die Gestaltungsziele 3.3.1 (*Gemeinsame Entwicklung mit den Stakeholdern*) und 3.3.3 (*Inklusion und Engagement*) finden sich dementsprechend auch in drei der vier Domänen wieder.

Der Abgleich mit den Herausforderungen digitalisierter Produkte aus Kapitel 3.4 ergibt die Relevanz folgender Herausforderungen für den Gestaltungsbereich:

- (H1) Stakeholder Management insb. Neugestaltung von Rollen und Zusammenführung unterschiedlicher Unternehmenskulturen
- (H2) Koordination und Akquise neuer Kooperationspartner

Die Neugestaltung von Rollen (H1) wurde bereits im Gestaltungsbereich *Governance Model* der Dimension *Organization and Governance* (Kapitel 6.2.2) begegnet. Allerdings lag hierbei der Fokus auf dem Management und der Entscheidungsfindung. Auch der Gestaltungsbereich *Leadership* dieser Dimension fokussiert auf das Management und weniger auf die verschiedenen anderen Stakeholdergruppen. Dadurch wird zwar die Rolle des Management definiert, weitere Stakeholderrollen bleiben dadurch aber unberücksichtigt.

Da die Integration der Stakeholder in vielen verschiedenen Bereichen der Planung, Entwicklung und des Betriebs digitalisierter Produkte durch die Anwendungsdomänenmodelle im Rahmen der *Stakeholder Collaboration* betont wird, sollte dementsprechend die explizite Ausgestaltung der Rollen im DPMM berücksichtigt werden. Es wird daher empfohlen, den Gestaltungsbereich um ein Gestaltungsziel zu ergänzen:

3.3.15 Rollen: Neugestaltung der Stakeholder-Rollen.

Die Zusammenführung der unterschiedlichen Unternehmenskulturen (H1) wurde bereits in der vorangegangenen Dimension thematisiert und hierfür das DPMM durch ein neues Gestaltungsziel ergänzt (siehe Kapitel 6.2.2.4).

Die Herausforderung der Akquise neuer Partner für eine Zusammenarbeit (H2) wird durch verschiedene Gestaltungsziele abgedeckt: So werden z. B. die Entwicklung von *inklusive und personalisierten Engagement-Modellen* (3.3.3) oder der Einsatz von *Engagement-Pilot-Projekten* (3.3.14) empfohlen.

Auch die Koordination dieser Zusammenarbeit wird durch verschiedene Gestaltungsziele begegnet: So wird z. B. zur Entwicklung einer gemeinsamen Sprache,

gemeinsamen Zielen und gemeinsamen Ergebnissen die *Entwicklung von Stakeholder-Ökosystemen* (3.3.2), die *Entwicklung eines gemeinsamen Referenzmodells* (3.3.6) und die *vertragliche Fundierung von Kollaborationen* (3.3.11) empfohlen.

Inwieweit dies ausreichend ist, um dem Aspekt vollständig zu begegnen, kann nur eine weitere Evaluation des DPMM zeigen.

Für den Gestaltungsbereich **Skill Development** konnten zehn Gestaltungsziele identifiziert werden, die sich mit der gezielten Entwicklung von Kompetenzen auf allen Ebenen und in allen Bereichen durch geplante Aus- und Fortbildungsprogrammen befassen oder zur Inklusion Alternativen bereitstellen.

Die meisten Ziele entstammen hierbei, wie schon beim vorangegangenen Gestaltungsbereich der Stakeholder Collaboration, der *Smart-City*-Domäne. Die *Tourism*-Domäne bietet dagegen keine Gestaltungsziele für diesen Bereich an.

Die Notwendigkeit der *Entwicklung digitaler (Medien-)Kompetenzen von Kunden* (3.4.5) kann dabei in allen drei Domänen als Gestaltungsziel wiedergefunden werden. Dies spricht daher für einen Erfolgsfaktor für die Entwicklung digitalisierter Produkte. Auch werden durch verschiedene sich teils überschneidende Gestaltungsziele IT- bzw. Skills in Bezug auf Daten auf Unternehmensseite betont (siehe Gestaltungsziele 3.4.2, 3.4.3, 3.4.7, 3.4.10).

Der Abgleich mit den Herausforderungen digitalisierter Produkte aus Kapitel 3.4 ergibt die Relevanz folgender Herausforderungen für den Gestaltungsbereich:

- (H1) Skill bzw. Kompetenzentwicklung multipler Stakeholder im Allgemeinen (Stakeholder Management)
- (H2) Fehlend Erfahrungen in einer neuen Domäne
- (H3) Fehlende Technik-bezogene Skills und Vorwissen der Nutzer
- (H4) Erlernen neuer Routinen durch den Nutzer insb. selbstständige Durchführung von Wartungsarbeiten
- (H5) Notwendiges Vorwissen für die Interpretation der Informationen und Ableitung von etwaigen Handlungen
- (H6) Entwicklung von und Umgang mit neuen (komplexen bzw. anspruchsvollen) Algorithmen, Techniken, Metriken und (Daten-)Modelle zur Verbesserung der Datensammlung, -integration und -interpretation

Alle Herausforderungen wurden durch die Domänen bzw. den Domänen zugrunde liegenden Reifegradmodelle und deren Gestaltungsziele bereits erkannt (mit Ausnahme der Tourism-Domäne). Entsprechend werden die *Entwicklung von IT-Skills*

(3.4.2), *Kompetenzen im Umgang mit Daten* (3.4.3, 3.4.10), *Projektskills der Mitarbeiter/Anbieterseite* (3.4.8), die Entwicklung von *Medienkompetenzen der Kunden* (3.4.5), die *digitale Inklusion durch alternative Vorkehrungen* (3.4.6) und die dadurch entstehende *Koordination von Aus- und Fortbildungsprogrammen* (3.4.7) gefordert und gefördert.

Dabei kann sogar die von HOLLER ET AL. (2018, S. 149) angemerkte nicht nur initiale Schulung hinsichtlich Software-Engineering-Methoden-Wissen, sondern kontinuierliche Weiterbildung durch die Gestaltungsziele erreicht werden. Durch die Gestaltungsziele wird gefordert, dass die *digitalen und analytischen IT-Skills der Mitarbeiter auf neuestem Stand sind* (3.4.2) und gezielte *Aus- bzw. Fortbildungsprogramme* (3.4.7) gestaltet werden sollen.

Darüber hinaus wird, z. B. im Gestaltungsbereich *Development and Manufacturing* der Dimension *Organizational Processes* (Kapitel 6.2.4), gefordert, dass neue digitale Technologien durch einen *formalen Prozess* eingeführt werden (4.3.6) bzw. für alle Aktivitäten des digitalisierten Produkts ein *Technologieevaluations- und Technologieauswahlprozess* vorhanden ist (4.3.3). Außerdem wird die Etablierung eines *Veränderungsprozess* für Änderungen bei Anwendungen oder der IT-Infrastruktur (4.3.5) gefordert.

Die Gestaltungsziele decken demnach die identifizierten Herausforderungen ab, sodass keine weiteren Gestaltungsziele oder Ergänzungen notwendig sind.

6.2.4 Dimension Organizational Processes des DPMM

Die Dimension *Organizational Processes* umfasst die Ausgestaltung der für die Entwicklung und den Einsatz digitalisierter Produkte notwendigen Prozesse. Hierzu zählen der Entwicklungsprozess im Speziellen und die Unternehmensprozesse im Allgemeinen (siehe Kapitel 5.2.3).

Die Bereichsmusteranalyse zeigt jedoch, dass diese Unterteilung zu unpräzise ist, weswegen eine feinere Unterteilung notwendig ist. Durch die Bereichsmusteranalyse konnten allerdings keine eindeutigen Muster identifiziert werden. Ergänzend wird daher für die Unterteilung bzw. Gruppierung der Gestaltungsziele auf das St. Galler Management-Modell Rückgriff genommen.

Das *St. Galler Management-Modell* unterteilt die Wertschöpfungsprozesse eines Unternehmens in drei Kategorien (Rüegg-Stürm und Grand 2020, S. 74–75):

- *Managementprozesse* (Mission und Strategie-Entwicklung sowie operative Koordinationsprozesse),

- *Geschäftsprozesse* (Innovations-, Produktpflege-, Leistungserstellungs-, Verkaufsprozess und Prozess der Kundenbetreuung und der Anwendungsunterstützung) und
- *Unterstützungsprozesse* (Marketing und Kommunikation, Finanzen, ICT, Personalentwicklung und -administration).

Nach dieser Einteilung wurden die Managementprozesse und große Teile der Unterstützungsprozesse bereits durch die bisherigen Gestaltungsdimensionen *Strategic and Financial Planning, Organization and Governance* und *Stakeholder Management* abgebildet. Die Gestaltungsdimension *Organizational Processes* dient daher der Abbildung der übrigen Unternehmensprozesse, die durch das St. Galler Management Modell als Geschäftsprozesse bezeichnet werden. Einige Aspekte, z. B. bzgl. des Innovationsprozesses, finden sich allerdings aufgrund der Abhängigkeiten der Gestaltungsdimensionen bzw. -bereiche untereinander auch in anderen Gestaltungsbereichen wieder.

Mithilfe des Modells und der Bereichsmusteranalyse lassen sich die identifizierten Gestaltungsziele in die folgenden Gestaltungsbereiche gliedern: (1) *Processes in General*; (2) *Procurement, Sales, Services and Operations*; (3) *Development and Manufacturing* und (4) *Asset Management*.

Im Folgenden werden die Gestaltungsbereiche der Dimension *Organizational Processes* inhaltlich voneinander abgegrenzt.

6.2.4.1 Gestaltungsbereich *Processes in General*

Der Gestaltungsbereich *Processes in General* umfasst alle Gestaltungsziele, die die Unternehmensprozesse im Allgemeinen betreffen (z. B. Messung der Performanz oder Optimierung der Prozesse) bzw. prozessübergreifend sind und sich nicht auf einen spezifischen Prozess beziehen.

In Tabelle 56 finden sich die identifizierten und konsolidierten Gestaltungsziele für den Gestaltungsbereich, ihre Quelle und ihre ursprüngliche Anwendungsdomäne.

4.1. Processes in General		Quellen	E	M	S	T
4.1.1.	Dezentralisierung der Prozesse (<i>Anm.: keine weiteren Angaben durch die entsprechenden Quellen</i>).	(Schumacher et al. 2016, S. 164)	-	X	-	-
4.1.2.	Prozessoptimierung anhand der IT-Architektur: Die Geschäftsprozesse werden anhand der IT-Architektur so optimiert, dass die Architektur wirksam zum Einsatz kommen kann.	(SGMM Team 2011, S. 39)	X	-	-	-
4.1.3.	Automatisierte Prozessoptimierung: Geschäftsprozesse werden automatisch optimiert, sobald dies durch Weiterentwicklungen im technologischen Bereich vorgegeben wird.	(SGMM Team 2011, S. 40)	X	-	-	-
4.1.4.	Automatisierung und Integration: Das Unternehmen arbeitet mit Lieferanten und Kunden zusammen, um neue und innovative Möglichkeiten zur (intelligenten) Automatisierung und Integration (produktivitätssteigernder) Prozesse (z. B. städtisch Vorgänge in Smart Cities) zu finden.	(SGMM Team 2011, S. 49; Lim et al. 2019, o. S.)	X	-	-	X
4.1.5.	Langfristiger Erfolg: Das Unternehmen/Institutionen/etc. akzeptieren aus Prozesssicht, dass der langfristige Erfolg auch Fehlschläge im Prozess inkludiert, um im Laufe der Zeit herauszufinden, was wirklich funktioniert.	(Clarke 2013, S. 12)	-	-	X	-
4.1.6.	Value-Chain: Die Wertschöpfungskette des Unternehmens wurde anhand der Möglichkeiten des digitalisierten Produkts neu definiert.	(SGMM Team 2011, S. 48)	X	-	-	-
4.1.7.	Feedback-Loops: Stakeholder-Feedback-Loops, z. B. in Form informeller Diskussionen mit Stakeholdern in Bezug auf ihre Erfahrungen und gewonnenen Erkenntnisse, sind vorhanden.	(SGMM Team 2011, S. 13; Lim et al. 2019, o. S.)	X	-	-	X
4.1.8.	Kollaboration: Kollaboration, das Teilen und der Transfer von Wissen (inkl. das Teilen von Best Practices und der Wissenstransfer mit z. B. anderen Smart Cities) ist ein formaler, geführter Prozess.	(The Scottish Government et al. 2014, S. 40)	-	-	X	-
4.1.9.	Fortschrittmessung und Lessons Learned: Kontinuierliche Messung, Überwachung und Veröffentlichung des Fortschritts, wofür Key Performance Indicators (KPIs) vorhanden sind. Lessons Learned werden umgesetzt. Vision, Strategie und Roadmap entwickeln sich kontinuierlich weiter.	(The Scottish Government et al. 2014, S. 34)	-	-	X	-
4.1.10.	Performanzevaluation: Evaluation der Performanz und/oder Kompensation sind mit dem Erfolg des digitalisierten Produkts verknüpft.	(SGMM Team 2011, S. 21)	X	-	-	-
4.1.11.	Performanzmessung: Ein Framework für die Performanz- und Wirkungsmessung ist etabliert, um die Verantwortung bzgl. der Ergebniserzielung sicherzustellen und Fortschritte zu messen. Hierfür sind KPIs vorhanden und die Performanz wird regelmäßig veröffentlicht. Service-Leaders sind aufgefördert, intelligentere (smartere) Arbeitsformen zu bewerkstelligen.	(The Scottish Government et al. 2014, S. 34 und 40)	-	-	X	-
4.1.12.	Performanzmetriken: Messbare Performanzmetriken für Stakeholder Engagement sind vorhanden und werden aktiv überwacht.	(The Scottish Government et al. 2014, S. 42)	-	-	X	-

Legende: X enthalten; - nicht enthalten; E=Energy; M=Manufacturing; S=Smart City; T=Tourism

Tabelle 56: Gestaltungsziele des Gestaltungsbereichs Processes in General des DPMM

6.2.4.2 Gestaltungsbereich Procurement, Sales, Services and Operations

Der Gestaltungsbereich *Procurement, Sales, Services and Operations* umfasst alle Gestaltungsziele, die die operativen Prozesse Beschaffung, Verkauf, Service und Betrieb befassen und damit Prozesse, die im direkten Lieferanten- und Kundenkontakt stehen. Hierzu zählen dementsprechend auch ergänzende Prozesse wie z. B. der After-Sales-Prozess.

4.2. Procurement, Sales, Services and Operation		Quellen	E	M	S	T
4.2.1.	Sales und Services: Digitalisierung von Sales und Services.	(Schumacher et al. 2016, S. 164)	-	X	-	-
4.2.2.	Service-Ergebnisse: Verbesserte Service-Ergebnisse sind bewiesen und untermauern zukünftige Service-Verbesserungen um Größenordnungen.	(The Scottish Government et al. 2014, S. 12)	-	-	X	-
4.2.3.	After-Sales-Service: Im After Sales Services-Prozess profitiert das Unternehmen von den gesammelten Daten und kann eine weite Bandbreite an Services anbieten. Dabei kommen verschiedene moderne Technologien zum Einsatz (z. B. Mobile-, Virtualisierungs- und Cloud-Technologien).	(Akdil et al. 2018, S. 72–73)	-	X	-	-
4.2.4.	Operations Echtzeitdaten: Nutzung von Echtzeitdaten im operativen Management (z. B. zum dynamischen Smart-Grid-Management).	(SGMM Team 2011, S. 28)	X	-	-	-
4.2.5.	Operations Ende-zu-Ende: Das Unternehmen hat die meisten operativen Arbeitsabläufe auf Ende-zu-Ende-Prozesse abgestimmt.	(SGMM Team 2011, S. 20)	X	-	-	-
4.2.6.	Operations Integration: Arbeitsabläufe sind integriert.	(SGMM Team 2011, S. 10)	X	-	-	-
4.2.7.	Operations Kosten und Service Levels: Die Kosten und Service Levels, die mit den Channels assoziiert sind, die die Dienstleistungen erbringen, sind aktuell und werden regelmäßig überprüft. Die Information wird genutzt um die zukünftige Strategie zu formen.	(The Scottish Government et al. 2014, S. 39)	-	-	X	-
4.2.8.	Audit der Service-Kanäle: Ein aktuelles Audit der Kanäle, die genutzt werden, um (digitale und nicht-digitale) Services anzubieten, ist vorhanden.	(The Scottish Government et al. 2014, S. 41)	-	-	X	-
4.2.9.	Procurement-Policies werden regelmäßig überprüft, um Verbesserungsbarrieren abzubauen. Lieferanten werden aktiv in den Prozess eingebunden.	(The Scottish Government et al. 2014, S. 39)	-	-	X	-
4.2.10.	Procurement-Strategie: Für die Involvierung der Industrie in Procurement-Strategien (frühzeitiges, iteratives Einbinden potentieller Lieferanten bevor Procurement-Möglichkeiten veröffentlicht werden) ist ein formaler Prozess etabliert.	(The Scottish Government et al. 2014, S. 39)	-	-	X	-
4.2.11.	Organisationsübergreifendes Procurement: Organisationsübergreifende Beschaffungen sind umfangreich umgesetzt.	(The Scottish Government et al. 2014, S. 39)	-	-	X	-

Legende: X enthalten; - nicht enthalten; E=Energy; M=Manufacturing; S=Smart City; T=Tourism

Tabelle 57: Gestaltungsziele des Gestaltungsbereichs Procurement, Sales, Services and Operation des DPMM

In Tabelle 57 finden sich die identifizierten und konsolidierten Gestaltungsziele für den Gestaltungsbereich, ihre Quelle und ihre ursprüngliche Anwendungsdomäne.

6.2.4.3 Gestaltungsbereich Development and Manufacturing

4.3. Development and Manufacturing		Quellen	E	M	S	T
4.3.1.	Anforderungen: Die segmentierten Bedürfnisse spezifischer Kundengruppen sind dokumentiert.	(The Scottish Government et al. 2014, S. 41)	-	-	X	-
4.3.2.	Entwicklungs-Barrieren: Barrieren der Entwicklung sind identifiziert und dokumentiert.	(The Scottish Government et al. 2014, S. 33)	-	-	X	-
4.3.3.	Technologieauswahl und -evaluation: Für alle Aktivitäten des digitalisierten Produktes existiert ein Technologie-evaluations- und -auswahlprozess.	(SGMM Team 2011, S. 36)	X	-	-	-
4.3.4.	Co-Development: Nachhaltige Co-Development-Praktiken durch systematische Prüf- und Verbesserungszyklen, die ökonomische, ökologische, gesellschaftliche und andere verschiedene Werte abdecken, sind vorhanden.	(Lim et al. 2019, o. S.)	-	-	-	X
4.3.5.	Change Process für Anwendungen und Infrastruktur: Etablierung eines Veränderungskontrollprozesses für Anwendungen und die IT-Infrastruktur (z. B. für Ergänzungen, Upgrades oder Patches).	(SGMM Team 2011, S. 35)	X	-	-	-
4.3.6.	Neue digitale Technologien: Es existiert ein formaler Prozess, um neue digitale Technologien zu identifizierten, die in einem iterativen und agilen Verfahren (z. B. in der ganzen Smart City) eingeführt werden.	(The Scottish Government et al. 2014, S. 37)	-	-	X	-
4.3.7.	Einsatz von Daten: Die Nutzung von Daten bei der Entwicklung neuer Produkte ist auf hohem Niveau.	(Akdil et al. 2018, S. 72–73)	-	X	-	-
4.3.8.	Produkt-Simulationen: Die Simulation der Fertigbarkeit und der Nutzungsbedingungen des Produktes während der Produktentwicklung sind auf hohem Niveau.	(Akdil et al. 2018, S. 72–73)	-	X	-	-
4.3.9.	Ressourcenplan: Ein integrierter Ressourcenplan, der z. B. versucht ein effizientes Gleichgewicht zwischen verschiedener Typen der Strom-Generierung, sowie des Angebots und der Nachfrage zu etablieren, ist vorhanden und inkludiert neue zielgerichtete Ressourcen und Technologien.	(SGMM Team 2011, S. 49)	X	-	-	-
4.3.10.	Testing: Pilot-Projekte oder Demonstrationen werden durchgeführt.	(The Scottish Government et al. 2014, S. 39)	-	-	X	-
4.3.11.	Pilot-Kollaborations-Projekte zwischen Partnern wurden etabliert und erfordern die Reorganisation von Departments und Budgets .	(The Scottish Government et al. 2014, S. 39)	-	-	X	-
4.3.12.	Inbetriebnahme der Services: Es existiert ein integrierter strategischer Ansatz für die Inbetriebnahme der Services.	(The Scottish Government et al. 2014, S. 40)	-	-	X	-
Legende: X enthalten; - nicht enthalten; E=Energy; M=Manufacturing; S=Smart City; T=Tourism						

Tabelle 58: Gestaltungsziele des Gestaltungsbereichs Development and Manufacturing des DPMM

Der Gestaltungsbereich *Development and Manufacturing* umfasst alle Gestaltungsziele, die den Entwicklungs- und Produktionsprozess digitalisierter Produkte betreffen.

Im Rahmen der klassischen Softwareentwicklung gehören zum Software-Entwicklungsprozess je nach zugrunde liegenden Vorgehensmodell z. B. die Phasen Anforderungsanalyse, Entwurf, Implementierung, Test, Betrieb und Wartung (Broy und Kuhrmann 2013, S. 88–99).

Der notwendige Entwicklungsprozess für digitalisierte Produkte stellt dabei weder eine Erweiterung, noch eine direkte Anwendung des traditionellen Software Engineerings dar. Stattdessen ist es notwendig, Wissen aus verschiedenen Bereichen wie Mechanical und Software Engineering zu verknüpfen und die ggf. separaten (Teil-)Prozesse zu vereinen (Broy und Schmidt 2014, S. 72).

Der Gestaltungsbereich umfasst daher alle Gestaltungsziele, die die Anforderungsanalyse, die Implementierung, den Test, den Betrieb oder die Wartung betreffen. Nicht berücksichtigt sind hierbei Gestaltungsziele, die den Entwurf bzw. das Design digitalisierter Produkte und für die Entwicklung notwendige Infrastruktur betreffen. Diese stellen aufgrund des Umfangs und in Analogie zur Architektur digitalisierter Produkte eigene Dimensionen bzw. Gestaltungsbereiche dar: *Product Design* (Kapitel 6.2.6), *Technology Support and Communication* (Kapitel 6.2.5) und *Organizational Data and Analytics* (Kapitel 6.2.7).

Der Gestaltungsbereich umfasst damit auch nicht den Einsatz digitalisierter Produkte bei der Produktion bzw. Entwicklung selbst, sondern fokussiert auf die Entwicklung/Produktion der digitalisierten Produkte.

In Tabelle 58 finden sich die identifizierten und konsolidierten Gestaltungsziele für den Gestaltungsbereich, ihre Quelle sowie originäre Anwendungsdomäne.

6.2.4.4 Gestaltungsbereich Asset Management

Der Gestaltungsbereich *Asset Management* umfasst alle Gestaltungsziele, die den Prozess der Anlagenverwaltung betreffen. Als Asset definiert die ISO ein „*item, thing or entity that has potential or actual value to an organization*“ (ISO 55000:2014).

Dabei wird in der Literatur gelegentlich zwischen den an Bedeutung gewinnenden immateriellen Assets (z. B. Designs, Wissen, Software, intellektuelles Eigentum, Prozesse) und den klassischen materiellen Assets (z. B. Inventar, Gebäude, IT-Equipment, Maschinen, Hardware) unterschieden. Zusätzlich kann im Bereich der materiellen Assets auch zwischen liquiden und festen Assets unterschieden werden (Crespo Márquez et al. 2020, S. 4).

4.4. Asset Management		Quellen	E	M	S	T
4.4.1. Übergreifender Asseteinsatz: Der Einsatz von Assets – übergreifend und zwischen Beteiligten in der Lieferkette – ist durch gemeinsam definierte und ausgeführte Prozesse optimiert.	(SGMM Team 2011, S. 34)		X	-	-	-
4.4.2. Verbundene Assets: Verbundenen Assets (z. B. kabellose Sensoren, Kameras, intelligentes Straßenlicht), die zu einem Systems-of-Systems beitragen und Echtzeit-Informationen zur Wiederverwendung anbieten, werden in der Nutzungs-umgebung der digitalisierten Produkte eingesetzt.	(The Scottish Government et al. 2014, S. 12 und 37)		-	-	X	-
4.4.3. Performanz- und Einsatzoptimierung: Die Performanz und der Einsatz von Assets (vom Einkauf bis zum Ruhestand) ist unter Berücksichtigung der gesamten Asset Fleet und aller Asset-Kategorien optimiert (inkludiert z. B. ein effizientes Inventarmanagement).	(SGMM Team 2011, S. 34)		X	-	-	-
4.4.4. Automatisierte Optimierung: Die Optimierung der digitalisierten Produkte-Assets ist über die gesamte Wertschöpfungskette automatisiert.	(SGMM Team 2011, S. 50)		X	-	-	-
4.4.5. Nutzenmaximierung: Die Daten und Systeme digitalisierter Produkte sind die Grundlage für die Nutzungsmaximierung von Assets, inklusive just-in-time Asset Retirement.	(SGMM Team 2011, S. 34)		X	-	-	-
4.4.6. Asset-Modelle basieren auf echten (sowohl aktuellen als auch historischen) Performanz- und Monitoring-Daten (Asset Modelle beinhalten idealerweise finanzielle Analysen per Asset und berücksichtigen die gesamten Lebenszykluskosten).	(SGMM Team 2011, S. 34)		X	-	-	-
4.4.7. Assetklassen-Ansicht: Eine vollständige Ansicht auf Assetklassen (inklusive Ort und Wechselbeziehungen) – basierend auf Status (inkl. Sicherheitszustand), Verbindung, und Nähe – ist für das Unternehmen (Ausrüstung, Menschen, Information) verfügbar.	(SGMM Team 2011, S. 33)		X	-	-	-
4.4.8. Assetregister: Ein Assetregister in dem alle Daten mit den jeweiligen IT-Assets abgebildet sind ist etabliert.	(The Scottish Government et al. 2014, S. 35)		-	-	X	-
Legende: X enthalten; - nicht enthalten; E=Energy; M=Manufacturing; S=Smart City; T=Tourism						

Tabelle 59: Gestaltungsziele des Gestaltungsbereichs Asset Management des DPMM

Dementsprechend versteht sich das Asset Management vereinfacht im Allgemeinen als koordinierte Aktivitäten eines Unternehmens, um den Wert der Assets zu erzielen (ISO 55000:2014). Es handelt sich damit um keine operative, sondern um eine Managementaufgabe, die auch aufgrund ihrer Nähe zur Investitions- und Kostenplanung der Dimension *Strategic und Financial Planning* (Kapitel 6.2.1) zugeordnet werden könnte. Gleichzeitig kann es sich dem St. Gallner Management-Modell folgend um einen Unterstützungsprozess handeln (Rüegg-Stürm und Grand 2020, S. 80). Dem St. Gallner Modell folgend wurde das Asset Management als Gestaltungsbereich dieser Dimension untergeordnet.

In Tabelle 59 finden sich die identifizierten und konsolidierten Gestaltungsziele für den Gestaltungsbereich, ihre Quelle sowie originäre Anwendungsdomäne.

6.2.4.5 Zwischenevaluation des Teilergebnisartefaktes

Im Folgenden wird die Dimension *Organizational Processes* anhand des in Kapitel 6.1 dargereichten Vorgehens teilevaluiert. Dabei werden aufgrund des Umfangs und getrennten Inhalte die Gestaltungsbereiche einzeln betrachtet:

Für den Gestaltungsbereich **Processes in General** konnten zwölf Gestaltungsziele identifiziert werden, die sich mit der Ausgestaltung der Prozesse im Allgemeinen befassen und dabei Themen wie Automatisierung, Optimierung oder Evaluation adressieren.

Die Ziele entstammen allen vier Anwendungsdomänen, weisen aber nur vereinzelte direkte Überschneidungen auf. Die meisten Gestaltungsziele entstammen dabei der *Energy*- und der *Smart-City*-Domäne. Die *Manufacturing*-Domäne bietet mit *Dezentralisierung der Prozesse* (4.1.1) nur ein Ziel für den Gestaltungsbereich an. Die *Tourism*-Domäne bietet dagegen mit *Automatisierung und Integration von unternehmensübergreifenden Prozessen* (4.1.4) und der Einführung von *Stakeholder-Feedback-Loops* (4.1.7) zwei Ziele an, die sich auch in der *Energy*-Domäne wiederfinden lassen.

Der Abgleich mit den Herausforderungen digitalisierter Produkte aus Kapitel 3.4 ergab keine Überschneidung. Demnach konnten keine Herausforderungen identifiziert werden, die den Gestaltungsbereich *Process in General* betreffen. Prozessbezogene Herausforderungen adressieren meist spezifische Prozesse wie z. B. den Entwicklungsprozess und nicht die Prozesse im Allgemeinen.

Einzig die Herausforderungen, die sich auf die Gestaltung des Veränderungsprozesses beziehen, könnte diesem Gestaltungsbereich zugeordnet werden. Hierbei handelt es sich ebenfalls um einen übergreifenden Prozess, der bisher nicht durch die anderen Gestaltungsdimensionen und -bereiche adressiert wurde. Der Gestaltungsbereich *Process in General* bietet jedoch keine Gestaltungsziele an, die diese Herausforderungen direkt adressieren. Indirekt sind natürlich alle Gestaltungsziele Teile des Veränderungsprozesses. Die Ausgestaltung der Durchführung des Veränderungsprozesses im Unternehmen sollte jedoch gezielt vorab geklärt werden, da z. B. für den IT-Bereich typische disruptive Veränderungen nicht unbedingt genauso erfolgreich in anderen Bereichen sind (Kuhlenkötter et al. 2017, S. 219).

Aufgrund der Notwendigkeit der gezielten Gestaltung des Veränderungsprozesses im Unternehmen wird daher ein neues Gestaltungsziel vorgeschlagen:

4.1.13 Veränderungsprozess: Der Veränderungsprozesses wurde gestaltet (disruptiv, graduell).

Für den Gestaltungsbereich **Procurement, Sales, Services and Operation** konnten elf Gestaltungsziele identifiziert werden, die sich mit der Digitalisierung und Verbesserung verschiedener operativer Prozesse – durch z. B. die Nutzung von Echtzeitdaten, Prozess-Integration oder Audits – befassen.

Die Gestaltungsziele entstammen drei der vier Anwendungsdomänen. Die Anwendungsdomäne *Tourism* bietet dagegen keine Gestaltungsziele für diesen Gestaltungsbereich an. Die Hälfte der Gestaltungsziele entstammen dabei ausschließlich der Anwendungsdomäne *Smart City*. Es konnte kein Gestaltungsziel identifiziert werden, dass in mehr als einer Domäne gleichzeitig vorkommt. Die Domänen scheinen demnach alle einen unterschiedlichen Schwerpunkt zu legen.

Der Abgleich mit den Herausforderungen digitalisierter Produkte aus Kapitel 3.4 ergibt die Relevanz der folgenden Herausforderung für den Gestaltungsbereich:

- (H1) Kontinuierliche Bereitstellung neuer qualitativ hochwertiger Inhalte für die Produkte und damit verbundene Kosten

Andere Herausforderungen, die einen Bezug zu den Sales-, Service-, Procurement- und Operations-Prozesse besitzen, sind nicht auf die Prozesse selbst bezogen. Stattdessen beziehen sich diese Herausforderungen unter anderem auf technologische Aspekte wie z. B. die fehlende Infrastruktur für den Betrieb.

Die Herausforderung der kontinuierlichen Bereitstellung neuer qualitativ hochwertiger Inhalte (H1) wiederum ist ein Prozessschritt der für den Betrieb digitalisierter Produkte zur Steigerung und zum Erhalt der Kundenbindung notwendig ist. Dabei erwarten die Kunden, dass die bereitgestellten Inhalte qualitativ hochwertig, nützlich und vollständig sind (Lazar et al. 2015, S. 639–640; Roecker et al. 2017, S. 6). Dies bedingt allerdings auch unter Umständen hohe, laufende Kosten (z. B. für die redaktionelle Überarbeitung), die die Kunden meist nicht bereit sind zu tragen (Roecker et al. 2017, S. 6).

Während der Kosten-Aspekt für die Bereitstellung der Inhalte in dem Gestaltungsziel 4.2.7 (Kosten für die Dienstleistungs Kanäle werden regelmäßig überprüft) als mitabgebildet betrachtet werden kann, findet sich die prozessuale Abdeckung der kontinuierlichen Bereitstellung nicht in den Gestaltungszielen adressiert. Es wird daher empfohlen, den Gestaltungsbereich um ein Gestaltungsziel zu ergänzen:

4.2.12 Inhaltsbereitstellung: Qualitativ hochwertige Inhalte werden kontinuierlich passend zum Bedarf der Nutzer bereitgestellt.

Für den Gestaltungsbereich **Development and Manufacturing** konnten 12 Gestaltungsziele identifiziert werden, die die Verbesserung des Entwicklungsprozesses digitalisierter Produkte, durch z. B. die Identifizierung von Barrieren, Testverfahren oder Co-Development-Praktiken, adressieren.

Diese entstammen allen vier Anwendungsdomänen, wobei die *Tourism*-Domäne lediglich ein Gestaltungsziel für den Gestaltungsbereich anbietet. Die meisten Gestaltungsziele entstammen der *Smart-City*-Domäne. Kein Ziel konnte dabei in mehr als einer Domäne gleichzeitig identifiziert werden. Die Domänen setzen dementsprechend unterschiedliche Schwerpunkte. So fokussiert sich die *Smart-City*-Domäne z. B. auf die *Anforderungsanalyse* (4.3.1, 4.3.2), während die *Manufacturing*-Domäne die *Datennutzung* im Prozess adressiert (4.3.7, 4.3.8).

Der Abgleich mit den Herausforderungen digitalisierter Produkte aus Kapitel 3.4 ergibt die Relevanz folgender Herausforderungen für den Gestaltungsbereich:

- (H1) Synchronisierung von Clock Speeds der physischen Produkt- und Technologieentwicklung
- (H2) Unausgereifte Technologien
- (H3) Klare Kommunikation von Design-Zielen zwischen den Stakeholdern

Für die notwendige Synchronisierung der verschiedenen Entwicklungsgeschwindigkeiten der physischen Produktentwicklung und der nicht-physischen Softwareentwicklung (*Clock Speeds*) (H1) konnten keine Gestaltungsziele identifiziert werden, die der Herausforderung begegnen. Da dies aber ein wichtiger Aspekt der Produktentwicklung darstellt, sollte er explizit im DPMM Berücksichtigung finden. Es wird daher empfohlen, den Gestaltungsbereich um das folgende Gestaltungsziel zu ergänzen:

4.3.13 **Clock Speeds**: Synchronisierung von Clock Speeds der physischen Produkt- und Technologieentwicklung ist sichergestellt.

Die Herausforderung der unausgereiften Technologien (H2) wird durch das Gestaltungsziel 4.3.3 *Technologieauswahl und -evaluation* (und ergänzend 4.3.8 *Produkt-Simulation*, 4.3.10 *Pilotprojekte*) begegnet. Hierbei werden neue Technologien vor ihrem Einsatz im Rahmen des digitalisierten Produktes entsprechend evaluiert (sowie später simuliert und getestet).

Das Problem, wie mit einer etwaigen unausgereiften Technologie dann verfahren wird, wird allerdings abhängig von dem konzeptuellen Verständnis der Evaluation ggf. nicht adressiert. Lediglich die (frühzeitige) Identifizierung der Probleme ist dabei sichergestellt. Inhaltlich überschneidet sich dieser Bereich darüber hinaus

mit dem der Best Practices, die wiederum nicht Bestandteil der derzeitigen Modellversion des DPMM sind.

Daher wird kein ergänzendes Gestaltungsziel vorgeschlagen, allerdings wird im Rahmen des Gestaltungsbereichs *IT Architecture* der Dimension *Technology Support and Communication* in Kapitel 6.2.5 die Herausforderung erneut aufgegriffen.

Die Herausforderung der klaren Kommunikation von Design-Zielen (H3) wird nicht durch die Gestaltungsziele adressiert. Eine klare Kommunikation von Design-Zielen zwischen den beteiligten Stakeholdern ist allerdings aufgrund der Komplexität der Diskussionen (zahlreiche zu gestaltende Teilkomponenten, kognitiver Wechsel zwischen abstrakt und spezifische) notwendig (Valencia et al. 2014, S. 13). Es wird daher empfohlen, den Gestaltungsbereich um das folgende Gestaltungsziel zu erweitern:

4.3.14 Kommunikation: Design-Ziele sind zwischen allen an der Gestaltung beteiligten Stakeholder klar kommuniziert.

Für den Gestaltungsbereich **Asset Management** konnten neun Gestaltungsziele identifiziert werden, die sich mit dem Einsatz, der Überwachung und der Maximierung der Performanz und des Nutzens von Assets beschäftigen.

Die Gestaltungsziele entstammen dabei drei der vier Anwendungsdomänen. Die Anwendungsdomäne *Tourism* bietet dagegen keine Gestaltungsziele für diesen Gestaltungsbereich an. Sechs der neun Gestaltungsziele entstammen zudem alleinig der Anwendungsdomäne *Energy*. Hier sollte langfristig deren Übertragbarkeit auf die anderen Domänen durch zusätzliche Evaluationen geprüft werden.

Für den Gestaltungsbereich konnten keine spezifischen Herausforderungen (vgl. Kapitel 3.4) identifiziert werden.

6.2.5 Dimension Technology Support and Communication des DPMM

Die Dimension *Technology Support and Communication* dient der Erfassung der technologischen Aspekte, die für die Entwicklung und den Betrieb digitalisierter Produkte im Unternehmen notwendig sind zu beachten (siehe Kapitel 5.2.3).

Die Bereichsmusteranalyse der Reifegradmodelle zeigte, dass sich die Aspekte in die folgenden Kategorien und damit Gestaltungsbereiche einteilen lassen: (1) *IT Architecture and Infrastructure*; (2) *Department Systems*; (3) *Communication and Networks*.

Im Folgenden werden die Gestaltungsbereiche der Dimension *Technology Support and Communication* inhaltlich voneinander abgegrenzt.

6.2.5.1 Gestaltungsbereich IT Architecture

Der Gestaltungsbereich *IT Architecture* umfasst alle Aspekte, die sich mit der Gestaltung der IT-Architektur des Unternehmens befassen. Der Begriff der Architektur wurde bereits im Kapitel 3.3 näher betrachtet.

Grundsätzlich kann unter einer IT-Architektur „*die strukturierende Abstraktion existierender oder geplanter Informationssysteme*“ (Dern 2009, S. 18) verstanden werden. Auch als Informationssystemarchitektur bezeichnet stellt sich daher konkreter „*ein Modell der informationstechnischen Infrastruktur, der Daten und Anwendungsprogramme, der von dem Informationssystem unterstützten Aufgaben sowie der dazu benötigten Aufbau- und Ablauforganisation des entsprechenden Unternehmensteils*“ (Heinrich und Stelzer 2011, S. 47) dar. Die informationstechnische Infrastruktur wird daher als Teil der IT-Architektur verstanden.

Die technische Infrastruktur, also die technischen Komponenten, die „*für den Betrieb der Anwendungssysteme notwendig sind, sowie ihre Beziehungen zueinander*“ (Heinrich und Stelzer 2011, S. 47), wird dagegen je nach Definition synonym (Krcmar 1990, S. 397) zur IT-Architektur oder in hierarchischer Abhängigkeit bzw. als notwendige Grundlage für die IT-Architektur verstanden (Heinrich und Stelzer 2011, S. 46–47; Dern 2009, S. 29). Eine einheitliche Definition existiert in der Literatur nicht (Patig et al. 2021, o. S.).

5.1. IT Architecture		Quellen	E	M	S	T
5.1.1.	Standards und Frameworks: Es werden (offene) und aktuelle Standards und Frameworks ausgewählt, die die Strategie der digitalisierten Produkte unterstützen und für die digitalisierten Produkte (z. B. Smart Grid) entwickelt oder geeignet sind.	(SGMM Team 2011, S. 36–38)	X	-	-	-
5.1.2.	Moderne IT: Moderne Informationstechnologien (z. B. mobile Geräte, Triggering-Technologien) werden umfassend eingesetzt.	(Schumacher et al. 2016, S. 164; Akdil et al. 2018, S. 71–74)	-	X	-	-
5.1.3.	Verbesserung und Ressourcennutzung: Die Technologie und der Einsatz anspruchsvoller Systeme (z. B. Business-Intelligence- und Wissensmanagement-Systeme) sind Basis für Verbesserung von Prozessen und der Performanz sowie für die optimale Ressourcennutzung.	(SGMM Team 2011, S. 39; Afonso et al. 2015, S. 234)	X	-	X	-
5.1.4.	IT-Dashboards: Es werden IT-Dashboards eingesetzt.	(Akdil et al. 2018, S. 71–74)	-	X	-	-
5.1.5.	Awareness, Echtzeit-Überwachung und -Steuerung: Systeme haben ausreichend flächendeckende situationsbezogene Wahrnehmung (<i>Awareness</i>), um Echtzeit-Überwachung, -Steuerung und Schadensminderung als Reaktion auf komplexe Ereignisse (z. B. Naturkatastrophen, Unwetter, extreme Bedarfsschwankungen) zu ermöglichen.	(SGMM Team 2011, S. 39)	X	-	-	-

5.1. IT Architecture		Quellen	E	M	S	T
5.1.6.	Automatische Vorfallerkennung: Die Unternehmensinformationsinfrastruktur kann automatisch Vorfälle im Cyberspace identifizieren, entschärfen und sich davon erholen.	(SGMM Team 2011, S. 40)	X	-	-	-
5.1.7.	Dynamisches IT- und Capability-Management (z. B. von Tourismus-Capabilities).	(Lim et al. 2019, o. S.)	-	-	-	X
5.1.8.	Interoperabilität etablieren: Schlüsselgebiete für Interoperabilität wurden identifiziert und die Prinzipien umgesetzt sowie die Anwendung gemeinsamer Sprachen zwischen System-Architekturen.	(The Scottish Government et al. 2014, S. 37)	-	-	X	-
5.1.9.	Organisationsübergreifende Infrastruktur: Pilot-Services berücksichtigen die Interoperabilität von Daten zwischen Organisationen und etablieren eine geteilte Technologie-Infrastruktur.	(The Scottish Government et al. 2014, S. 37)	-	-	X	-
5.1.10.	Organisationsübergreifende und anwendungsdomänenweite Lösungen: Shared-Architecture-Lösungen und Interoperabilität werden priorisiert, Investment-Roadmaps dokumentiert und durch dedizierte Mitarbeit werden Barrieren abgebaut. Die Strategie und der Investmentplan für anwendungsdomänenweite Lösungen sind vereinbart.	(The Scottish Government et al. 2014, S. 37)	-	-	X	-
5.1.11.	Skalierbare und intuitive IT-Infrastruktur: Die ICT-Infrastruktur-Lösung ist skalierbar, um eine steigende Nutzung zu ermöglichen, und intuitiv, um Angebot und Nachfrage vorherzusagen und sich anzupassen.	(The Scottish Government et al. 2014, S. 38)	-	-	X	-
5.1.12.	IT-Architektur-Plan: Ein Plan für die Umsetzung oder Anpassung der IT-Architektur, damit digitalisierte Produkte ermöglicht werden können, wurde entwickelt und wird umgesetzt.	(SGMM Team 2011, S. 36–37)	X	-	-	-
5.1.13.	System-Architektur-Maps sind vollständig dokumentiert und weitestgehend geteilt und offen, wo möglich.	(The Scottish Government et al. 2014, S. 37)	-	-	X	-
5.1.14.	IT-Architektur-Evaluation: Das Unternehmen evaluiert die existierende oder vorgeschlagene IT-Architektur anhand von Qualitätsattributen, die die Anwendungsmöglichkeiten digitalisierter Produkte unterstützen (z. B. Interoperabilität, Sicherheit, Modifizierbarkeit).	(SGMM Team 2011, S. 35)	X	-	-	-
5.1.15.	Resilienz: Das Unternehmen erfüllt seine kritischen Infrastruktur-Assurance-Ziele für Resilienz und wirkt bei denen der Region und des Landes mit.	(SGMM Team 2011, S. 56)	X	-	-	-
5.1.16.	Systemintegration: Kosten, Vorteile und Barrieren der Systemintegration wurden identifiziert und dokumentiert.	(The Scottish Government et al. 2014, S. 37)	-	-	X	-
5.1.17.	System-of-Systems: Klare Vorteile eines System-of-Systems-Ansatzes sind bewiesen.	(The Scottish Government et al. 2014, S. 38)	-	-	X	-
Legende: X enthalten; - nicht enthalten; E=Energy; M=Manufacturing; S=Smart City; T=Tourism						

Tabelle 60: Gestaltungsziele des Gestaltungsbereichs IT Architecture des DPMM

Zur Vereinfachung des DPMM wird deswegen im Folgenden die technische Infrastruktur in den IT-Architektur-Begriff subsummiert und damit alle Aspekte der IT-Architektur inklusiver notwendiger technischer Infrastrukturaspekte im Gestaltungsbereich IT Architecture zusammengeführt.

Gestaltungsziele, die die Datenarchitektur betreffen, sind in dem Gestaltungsbereich allerdings nicht enthalten. Diese sind aufgrund von Umfang, Zugehörigkeit und Aufbau digitalisierter Produkte (siehe Kapitel 3.3.4) in einer eigenen Dimension *Organizational Data and Analytics* (Kapitel 6.2.7) oder als Teil der Produktgestaltung in der Dimension *Product Design* (Kapitel 6.2.6) zu finden.

Ebenfalls nicht enthalten sind Gestaltungsziele, die den Entwicklungsprozess betreffen. Diese sind dem Gestaltungsbereich *Development and Manufacturing* der Dimension *Organizational Processes* (Kapitel 6.2.4) zugeordnet.

In Tabelle 60 finden sich die identifizierten und konsolidierten Gestaltungsziele für den Gestaltungsbereich, ihre Quelle und originäre Anwendungsdomäne.

6.2.5.2 Gestaltungsbereich Department Systems

Der Gestaltungsbereich *Department Systems* umfasst alle Aspekte, die sich mit der Gestaltung spezifischer Unternehmensbereichssysteme wie z. B. Supply-Chain-Systeme befassen.

5.2. Department Systems	Quellen	E	M	S	T
5.2.1. Sichtbarkeit und Steuerung: Management und operative Systeme bauen auf und nutzen alle Vorteile der erhöhten Sichtbarkeit (End-to-End Visibility) und integrierten Steuerung quer durch das Unternehmen.	(SGMM Team 2011, S. 10; Akdil et al. 2018, S. 71-74)	X	-	-	-
5.2.2. Integration von Supply-Chain-Systemen und Echtzeitplanung: Supply-Chain-Systeme sind vollständig zwischen Unternehmen, Lieferanten und Kunden integriert und stellen daher die Möglichkeit der Echtzeitplanung zur Verfügung.	(Akdil et al. 2018, S. 71-74)	-	X	-	-
5.2.3. Integration von Kampagnensystemen und Verkaufskanälen: Kampagnensysteme und Verkaufskanäle haben ein hohes Level an Integration.	(Akdil et al. 2018, S. 71-74)	-	X	-	-
5.2.4. Automatisierung Finanzdienstleistungen und Echtzeitdatenanalysen: Die Automatisierung von Finanzdienstleistungen ist auf hohem Niveau und Analysen basieren im Allgemeinen auf Echtzeitdaten.	(Akdil et al. 2018, S. 71-74)	-	X	-	-
5.2.5. Automatisierte Produktion: Produktionssysteme sind auf Produktionslinie/-zellenebene automatisiert oder auf Fabrikebene teilautomatisiert.	(Akdil et al. 2018, S. 71-74)	-	X	-	-
5.2.6. Operation Process Traceability: Die Betriebsprozess-Rückverfolgbarkeit (<i>Operation Process Traceability</i>) wird auf Fabrikebene innerhalb der digitalen Umgebung bereitgestellt.	(Akdil et al. 2018, S. 72-73)	-	X	-	-
Legende: X enthalten; - nicht enthalten; E=Energy; M=Manufacturing; S=Smart City; T=Tourism					

Tabelle 61: Gestaltungsziele des Gestaltungsbereichs Department Systems des DPMM

Zu beachten hierbei ist, dass sich der Bereich thematisch mit der IT-Architektur (siehe vorangegangenen Gestaltungsbereich) überschneidet bzw. Abhängigkeiten aufweisen kann.

In Tabelle 61 finden sich die identifizierten und konsolidierten Gestaltungsziele für den Gestaltungsbereich.

6.2.5.3 Gestaltungsbereich Communications and Networks

Der Gestaltungsbereich *Communications and Networks* umfasst alle Aspekte, die sich mit der Gestaltung des notwendigen Netzwerks und damit eng verbunden der Kommunikation bzw. dem Austausch von Daten befassen.

Dieser Bereich könnte inhaltlich auch in die beiden anderen Gestaltungsbereiche integriert werden. Es wurde sich jedoch aufgrund des Umfangs an Gestaltungszielen, die die Reifegradmodelle für diesen Bereich explizit aufweisen, und in Anlehnung an die Architektur digitalisierter Produkte (Kapitel 3.3.4) für einen eigenen Gestaltungsbereich entschieden.

Anders als bei der IT-Architektur, die in eine Unternehmens-IT-Architektur (Kapitel 6.2.5.1) und eine Produkt-IT-Architektur (Kapitel 6.2.6.1) aufgeteilt wurden, findet eine Trennung nach Unternehmen und Produkt hierbei nicht statt. Dies ist nicht möglich, da hier die beiden Bereiche, Unternehmen und Produkt, durch das Netzwerk verbunden werden und daher eine eindeutige Zuordnung der einzelnen Gestaltungsziele nicht immer möglich ist.

Dies entspricht darüber hinaus auch der Architektur digitalisierter Produkte (Kapitel 3.3.4) bei der die Kommunikation bzw. das Netzwerk repräsentiert durch die Gateway-Komponente ein eigenen Bereich zwischen Anbieter/Cloud und Nutzerseite/Local darstellt.

In Tabelle 62 finden sich die identifizierten und konsolidierten Gestaltungsziele für den Gestaltungsbereich.

5.3. Communications and Networks	Quellen	E	M	S	T
5.3.1. Übergreifendes Echtzeit-Netzwerk und Datenaustauschstrukturen: Allgegenwärtige, sichere und intelligente Hochgeschwindigkeitsnetzwerke (Echtzeit) und Datenaustauschstrukturen zwischen allen Stakeholdern, die darüber hinaus mit anderen Branchen verbunden sind.	(Lim et al. 2019, o. S.)	-	-	-	X
5.3.2. Konvergiertes Netzwerkdesign: Ein Masterplan für ein konvergiertes Netzwerkdesign mit einem einzigen, einheitlichen Netzwerk (keine Silos) ist vorhanden.	(Clarke 2013, S. 13)	-	-	X	-
5.3.3. Heimnetze: Kundenaccounts werden durch Heimgeräte und Heimnetze (<i>Home Area Network</i>) verwaltet .	(SGMM Team 2011, S. 45)	X	-	-	-

5.3. Communications and Networks		Quellen	E	M	S	T
5.3.4.	Sicheres Informationsnetzwerk: Kundenseitige Energie-Management-Lösungen mit Markt- und Nutzungsinformationen werden ermöglicht. Das Unternehmen stellt hierfür ein sicheres Informationsnetzwerk zur Verfügung.	(SGMM Team 2011, S. 49)	X	-	-	-
5.3.5.	Energieversorger-Netzwerk: Der Energieverbrauch und die Geräte der Endnutzer werden aktiv durch das Energieversorger-Netzwerk verwaltet (wo angemessen).	(SGMM Team 2011, S. 56)	X	-	-	-
5.3.6.	Breitbandinfrastruktur: Durchdringung mit neuester Breitbandinfrastruktur und Geräten zur Datenerfassung (wie z. B. Sensoren, Kameras).	(Clarke 2013, S. 8; The Scottish Government et al. 2014, S. 38)	-	-	X	-
5.3.7.	Daten-Kommunikationsstrategie: Das Unternehmen besitzt eine detaillierte Daten-Kommunikationsstrategie für das digitalisierte Produkt und begleitende Taktiken (z. B. eine Governance für die Auswahl von Verbindungen, damit alle Systeme zusammenarbeiten können unabhängig ihres Daten-Ursprungs oder -Ziels). Diese sind Funktions- und Geschäftsfeld-übergreifend und enthalten Entscheidungen u. a. bzgl. der Typen physischer Kommunikationsinfrastruktur (z. B. Breitband oder Wireless), Protokolle (z. B. IP) und andere Standards (z. B. für Sicherheit oder Interoperabilität).	(SGMM Team 2011, S. 36 und 38)	X	-	-	-
5.3.8.	Produkt-Kommunikation: Die Produkte des Unternehmens sind fähig mit anderen Produkten, Plattformen und Systemen zu kommunizieren.	(Akdil et al. 2018, S. 71)	-	X	-	-
5.3.9.	M2M-Kommunikation: Einsatz von Machine-to-Machine-Kommunikation (M2M-Kommunikation).	(Schumacher et al. 2016, S. 164)	-	X	-	-
5.3.10.	Zweiwege-Meter-Kommunikation wird für eine signifikante Anzahl an Kunden eingesetzt.	(SGMM Team 2011, S. 43)	X	-	-	-
5.3.11.	Partner-Kommunikation: Hohe Integration der Kommunikationskanäle mit Partnern (Fokus Geschäftsprozesse).	(Akdil et al. 2018, S. 71–74)	-	X	-	-
5.3.12.	Nutzer-Kommunikation: Multiple Kanäle werden genutzt, um mit den Nutzern (z. B. Stadtbewohner, Unternehmen), basierend auf deren Präferenzen, zu interagieren. Dies beinhaltet u. a. Telefon, Face-to-Face, Web, Social Media, mobile Apps. Digitale Kanäle werden dabei mit nicht-digitalen Kanälen integriert.	(The Scottish Government et al. 2014, S. 42)	-	-	X	-
5.3.13.	Engagement-Möglichkeiten: Physische Räume und virtuelle Mechanismen wurden geschaffen, die Möglichkeiten für neue Engagement-Modelle bieten und innovative Entwicklung stimulieren, um spezifische Herausforderungen zu lösen. Virtuelle Mechanismen bieten die Möglichkeit für online Co-Working durch z. B. Foren, Knowledgehub, Basecamp oder virtuellen Communities.	(The Scottish Government et al. 2014, S. 41)	-	-	X	-

Legende: X enthalten; - nicht enthalten; E=Energy; M=Manufacturing; S=Smart City; T=Tourism

**Tabelle 62: Gestaltungsziele des Gestaltungsbereichs
Communications and Networks des DPMM**

6.2.5.4 Zwischenevaluation des Teilergebnisartefaktes

Im Folgenden wird die Dimension Technology Support and Communication anhand des in Kapitel 6.1 dargelegten Vorgehens teilevaluiert. Dabei werden aufgrund des Umfangs und getrennten Inhalte die Gestaltungsbereiche einzeln betrachtet:

Für den Gestaltungsbereich **IT Architecture** konnten 17 Gestaltungsziele identifiziert werden. Die Ziele entstammen allen vier Anwendungsdomänen, weisen aber nur vereinzelte Überschneidungen auf. Die meisten Gestaltungsziele entstammen den Anwendungsdomänen *Energy* (7) und *Smart City* (8). Die Anwendungsdomäne *Manufacturing* stellt nur zwei Gestaltungsziele und die Anwendungsdomäne *Tourism* nur ein Gestaltungsziel zur Verfügung.

Inhaltlich variieren die Ziele zwischen abstrakten, technologischen Ansätzen (z. B. 5.1.2 *Einsatz moderner Informationstechnologien*), technologischen Funktionen (z. B. 5.1.6 *Automatische Vorfallerkennung*), konkreteren Architekturansätze (z. B. 5.1.10 *Shared-Architecture-Lösungen*) oder Anforderungen an die Architektur wie Interoperabilität (z. B. 5.1.8).

Der Abgleich mit den Herausforderungen digitalisierter Produkte aus Kapitel 3.4 ergibt die Relevanz folgender Herausforderungen für den Gestaltungsbereich:

- (H1) Unausgereifte Technologien
- (H2) Interoperabilität der Produkte
- (H3) Notwendigkeit einer neuen Infrastruktur und Werkzeuge für die Entwicklung, den Betrieb und die Evaluation
- (H4) Management einer großen Menge mobiler Objekte

Das Problem der unausgereiften Technologien (H1) wurde bereits im Rahmen des Gestaltungsbereichs *Development and Manufacturing* der Dimension *Organizational Processes* (Kapitel 6.2.4) adressiert und eine Teilabdeckung identifiziert. Der Gestaltungsbereich *IT Architecture* bietet keine Gestaltungsziele, die die Herausforderung direkt adressieren. Im Gegenteil, die Gestaltungsziele 5.1.2 und 5.1.3 fordern zum Beispiel den Einsatz neuer Technologien ohne auf etwaige technologische Reifeprobleme einzugehen.

Lediglich die Gestaltungsziele *IT-Architecture-Evaluation* (5.1.14) und *Systemintegration* (5.1.16) adressieren indirekt das Problem durch die Forderung der Evaluation der Architektur als Ganzes und mit Fokus auf Integration. Daher können diese als Ergänzung zu den identifizierten Gestaltungszielen des Gestaltungsbereichs *Development and Manufacturing* angesehen werden, sodass kein weiteres Gestaltungsziel notwendig ist.

Die Herausforderung der Interoperabilität der Produkte (H2) wird im Gestaltungsbereich durch die Gestaltungsziele 5.1.8 (*Interoperabilität identifizieren und Prinzipien umsetzen*), 5.1.9 (*Daten-Interoperabilität zwischen Organisationen*), 5.1.10 (*Priorisierung von Interoperabilität und Shared-Architecture-Lösungen*) und 5.1.14 (*Interoperabilität als ein IT-Architektur-Evaluationskriterium*) explizit aufgegriffen. Dabei gilt Interoperabilität als zu priorisierendes Qualitätsattribut, das sowohl a priori bei der Entwicklung als auch im Rahmen einer nachträglichen Evaluation berücksichtigt adressiert werden muss. Eine Ergänzung des DPMM in Bezug auf diese Herausforderung wird daher als nicht notwendig erachtet.

Die Herausforderung der Notwendigkeit einer neuen Infrastruktur und Werkzeuge für die Entwicklung, den Betrieb und die Evaluation (H3) wird nur teilweise begegnet. So wird z. B. die Nutzung von *IT-Dashboards* (5.1.4) vorgeschlagen, grundsätzlich auf den *Einsatz moderner Technologien* verwiesen (5.1.2) oder die Etablierung einer *geteilten Technologie-Infrastruktur* vorgeschlagen (5.1.9).

Darüber hinaus wurde im Gestaltungsbereich *Development and Manufacturing* der Dimension *Organizational Processes* (Kapitel 6.2.4) die Etablierung eines *Veränderungskontrollprozesses* für die IT-Infrastruktur (4.3.5) vorgeschlagen.

Da die Herausforderung dadurch nur in geringem Maße adressiert wird, wird ein neues Gestaltungsziel vorgeschlagen:

<p>5.1.18 Infrastruktur: Analyse, Auswahl und Etablierung einer neuen Infrastruktur und notwendiger Werkzeuge für die Entwicklung, den Betrieb und die Evaluation der digitalisierten Produkte.</p>
--

Der Herausforderung des Managements einer großen Menge mobiler Objekte (H4) wird lediglich durch das Gestaltungsziel der *Skalierbarkeit der Infrastruktur* (5.1.11) adressiert. Spezifische Anforderungen in Bezug auf die Mobilität der Produkte, die sich aus der steigenden Anzahl dieser ergeben, werden dabei jedoch nicht explizit bzw. gesondert berücksichtigt.

Inhaltlich tangiert die Herausforderung auch den nachfolgenden Gestaltungsbereich *Communication and Networks*, der sich mit der Netzwerkgestaltung und dem Kommunikations- bzw. Datenaustausch der digitalisierten Produkte befasst und damit auch Aspekte der Mobilität zu berücksichtigen hat. Allerdings wird auch hier die Herausforderung nicht vollständig abgedeckt bzw. durch Gestaltungsziele direkt adressiert.

Da aber die Mobilität ein wichtiger Aspekt der Produkte für viele der Forschungsdomänen digitalisierter Produkte darstellt (siehe Kapitel 2.2.7), wird eine Veränderung des Gestaltungsziels 5.1.11 vorgeschlagen:

5.1.11 Skalierbare und intuitive IT-Infrastruktur: Die ICT-Infrastruktur-Lösung ist skalierbar, um eine steigende Nutzung (*insb. durch mobile Objekte*) zu ermöglichen, und intuitiv, um Angebot und Nachfrage vorherzusagen und sich anzupassen.

Für den Gestaltungsbereich **Department Systems** konnten sechs Gestaltungsziele identifiziert werden. Die Ziele entstammen zwei der vier Anwendungsdomänen, wobei die Anwendungsdomäne *Energy* lediglich ein Gestaltungsziel (5.2.1.) bereitstellt. Die übrigen Gestaltungsziele entstammen der Anwendungsdomäne *Manufacturing*.

Inhaltlich werden verschiedene Gestaltungsziele für insbesondere operative Systeme wie z. B. Produktionssysteme, Supply-Chain-Systeme oder Kampagnensysteme vorgegeben. Im Vordergrund stehen dabei die Integration und Automatisierung dieser Systeme. Da es sich hierbei um konkrete Unternehmenssysteme handelt, kann nur eine Praxisevaluation zeigen, inwieweit diese Gestaltungsziele auf andere Anwendungsdomänen wie *Smart City* oder *Tourism* übertragbar sind. Jedoch bieten Gestaltungsziele wie z. B. die *Integration von Kampagnensystemen und Verkaufskanäle* (5.2.3) durchaus Potential diese im Rahmen von Smart Cities bzw. der Tourismusbranche umzusetzen.

Für den Gestaltungsbereich konnten jedoch keine in direktem Zusammenhang stehenden Herausforderungen digitalisierter Produkte (vgl. Kapitel 3.4) identifiziert werden.

Für den Gestaltungsbereich **Communications and Networks** konnten dreizehn Gestaltungsziele identifiziert werden, die allen vier Anwendungsdomänen entstammen. Dabei verteilen sich die Ziele gleichmäßig über die Anwendungsdomänen – *Energy* (5), *Smart City* (4) und *Manufacturing* (3). Lediglich die Anwendungsdomäne *Tourism* stellt nur ein Gestaltungsziel bereit.

Die inhaltliche Ausgestaltung der Gestaltungsziele findet jedoch auf unterschiedlichen Abstraktionsebenen statt: So werden allgemeine Vorgaben bzgl. des Netzwerk-Designs wie z. B. *allgegenwärtig, sicher und intelligent* (5.3.1) sowie konkretere Technologievorgaben wie z. B. die *Durchdringung mit Breitbandinfrastruktur* (5.3.6) gemacht. In Bezug auf die Kommunikation werden die *Kommunikations- und Engagementkanäle* (5.3.7-5.3.13) und die Art des Informationsaustausches wie *Machine-to-Machine-Kommunikation* (5.3.9) durch die Gestaltungsziele berücksichtigt.

Die Anwendungsdomäne *Energy* stellt in diesem Gestaltungsbereich zusätzlich für den Energiebereich spezifische Gestaltungsziele wie das *Informationsnetzwerk für kundenseitige Energie-Management-Lösungen* (5.3.4) und das *Energieversorger-Netzwerk für die Verwaltung des Energieverbrauchs* (5.3.5) zur Verfügung. Die

Übertragbarkeit dieser Gestaltungsziele auf andere Anwendungsdomänen ist schwieriger zu bewerten und muss durch entsprechende Evaluationen sichergestellt werden.

Der Abgleich mit den Herausforderungen digitalisierter Produkte aus Kapitel 3.4 ergibt die Relevanz folgender Herausforderungen für den Gestaltungsbereich:

- (H1) Gestaltung der Produkt/Server-Kommunikation (verteilt/zentralisiert)
- (H2) Remote Device Management heterogener Objekte
- (H3) Adress- und Netzwerkprobleme aufgrund vieler unbekannter, heterogener Objekte
- (H4) Management einer großen Anzahl mobiler Objekte
- (H5) Kohärenz der visuellen Darstellung des Systemverhaltens über alle Touchpoints

Zu beachten hier ist, dass die Herausforderungen inhaltliche Überschneidungen mit anderen Gestaltungsbereichen wie z. B. der IT-Architektur aufweisen.

Die Herausforderung der Gestaltung der Produkt/Server-Kommunikation (H1) wird durch verschiedene Gestaltungsziele adressiert. So behandeln einige Gestaltungsziele die *Produkt-Produkt- und Produkt-Server-Kommunikation* (z. B. 5.3.8) und andere das *Festlegen einer Kommunikationsstrategie und begleitende Taktiken* (5.3.7). Auf das konkrete Beispiel der verteilten oder zentralisierten Kommunikation wird bei den Gestaltungszielen jedoch nicht direkt Bezug genommen.

Gleichzeitig handelt es sich hierbei um eine spezifische Ausprägungen, die im Rahmen der Festlegung der Kommunikationsstrategie bzw. Ausprägung der Kommunikation festgelegt werden muss. Infolgedessen wird kein Mehrwert durch eine inhaltliche Ergänzung der Gestaltungsziele oder durch die Ergänzung um ein neues Gestaltungsziel gesehen.

Die Herausforderungen des Remote Device Management heterogener Objekte (H2) und die Adress- und Netzwerkprobleme aufgrund Anzahl und Heterogenität der Objekte (H3) werden durch kein Gestaltungsziel direkt adressiert. Grundsätzlich sollten auch diese Aspekte bei der *Datenkommunikationsstrategie* (5.3.7) berücksichtigt werden. Da hierbei allerdings gleich mehrere Probleme in der Umsetzung verursacht werden, sollte ein gesondertes Gestaltungsziel dies explizit aufgreifen. Es wird daher das folgende ergänzende neue Gestaltungsziel vorgeschlagen:

5.3.14 Heterogene Objekte: Analyse und Maßnahmenplanung der Heterogenität der Objekte und damit verbundene Herausforderungen (z. B. Remote Device Management, Adress- und Netzwerkprobleme).

Mit dem neuen Gestaltungsziel wird auch die Herausforderung des Managements einer großen Anzahl mobiler Objekte (H4) tangiert, da die Mobilität als heterogenes Kriterium eines Objekts verstanden werden kann. Das neue Gestaltungsziel deckt daher auch diese Herausforderung in Teilen mit ab. Gleichzeitig erfolgte bereits eine Teil-Abdeckung der Herausforderung im vorangegangenen Gestaltungsbereich *IT Architecture* dieser Dimension. Demzufolge wird die Herausforderung als vollständig adressiert angesehen und keine Änderungen oder Ergänzungen diesbezüglich am DPMM vorgenommen.

Die Herausforderung der Kohärenz der visuellen Darstellung (H5) ist nur in Teilen eine Herausforderung des Kommunikations- und Netzwerkbereichs, da dies sowohl als technische wie auch visuelle Herausforderung verstanden werden kann. Bisher wird dieses Problem nicht in dem Gestaltungsbereich berücksichtigt. Eine weitere Untersuchung der Herausforderung findet im Gestaltungsbereich *Service Design* der Dimension *Product Design* (Kapitel 6.2.6) statt, weswegen an dieser Stelle kein neues Gestaltungsziel zur Begegnung der Herausforderung ergänzt wird.

6.2.6 Dimension Product Design des DPMM

Die Gestaltungsdimension *Product Design* umfasst die Gestaltungsaspekte der Software und Hardware digitalisierter Produkte unter Berücksichtigung der Kundenbedürfnisse, der Kundenzufriedenheit und der Kundenerfahrung. Dies beinhaltet daher neben funktionalen Aspekten auch inhaltliche Aspekte (siehe Kapitel 5.2.3).

Die Bereichsmusteranalyse der Reifegradmodelle zeigte, dass sich die aus den Reifegradmodellen extrahierten Aspekte in die folgenden Kategorien und damit Gestaltungsbereiche einteilen lassen: (1) *Product IT Architecture*; (2) *Service Design* und (3) *Data and AI*.

Die Aufteilung in diese drei Gestaltungsbereiche spiegelt gleichzeitig auch den Aufbau digitalisierter Produkte wieder (siehe Kapitel 3.3.4). Im Zentrum steht das digitalisierte realweltliche Objekt, das durch Service- und Datenaustausch mit den anderen Komponenten (User, Gateway, etc.) in Verbindung steht.

Im Folgenden werden die Gestaltungsbereiche der Dimension *Product Design* inhaltlich voneinander abgegrenzt.

6.2.6.1 Gestaltungsbereich Product IT Architecture

Der Gestaltungsbereich *Product IT Architecture* umfasst alle Gestaltungsziele, die sich mit der IT-Architektur der Produkte befassen.

Damit grenzt sich der Gestaltungsbereich auch von dem allgemeinen Gestaltungsbereich der (Unternehmens-) *IT Architecture* der Dimension *Technology Support and Communication* (Kapitel 6.2.5) ab. Allerdings weisen die beiden Bereiche Überschneidungen auf bzw. eine gegenseitige Beeinflussung. Dennoch wird davon ausgegangen, dass eine getrennte Betrachtung ein differenziertes Vorgehen bei Verbesserungsmaßnahmen ermöglicht.

In Tabelle 63 finden sich die identifizierten und konsolidierten Gestaltungsziele für den Gestaltungsbereich.

6.1. Product IT Architecture	Quellen	E	M	S	T
6.1.1. Plattform: Die Produkte besitzen eine Plattform auf der die Produkte oder die Cloud-Anwendungen arbeiten.	(Akdil et al. 2018, S. 71–74)	-	X	-	-
6.1.2. Sensorplan: Das Unternehmen besitzt einen fortgeschrittenen Sensorplan, kann sich auf Situational Awareness oder fast Echtzeitsteuerung fokussieren und z. B. die Nutzung von hochentwickelten Sensoren inkludieren.	(SGMM Team 2011, S. 38)	X	-	-	-
6.1.3. Produktintegration: Integration von Produkten in andere Systeme .	(Schumacher et al. 2016, S. 164)	-	X	-	-
6.1.4. Substitute: Ergänzende Ressourcen (z. B. Speicher) sind verfügbar und einsatzbereit, um Substitute für Marktprodukte anzubieten, und damit Verlässlichkeit bzw. Ausfallsicherheit oder andere Ziele zu unterstützen.	(SGMM Team 2011, S. 49)	X	-	-	-
6.1.5. Spitzentechnologien kommen zum Einsatz, z. B. für die Grid-Stabilität.	(SGMM Team 2011, S. 40)	X	-	-	-
6.1.6. Produkt-Tracking: Produkte können entlang ihres kompletten Lebenszyklus verfolgt werden.	(Akdil et al. 2018, S. 71–74)	-	X	-	-
6.1.7. Nachfragespitzen: Programme zur Verringerung von Nachfragespitzen sind etabliert (z. B. Demand Response Programs, Dynamic Pricing Signals, Managed Control of Devices).	(SGMM Team 2011, S. 56)	X	-	-	-
6.1.8. Ausfallsicherheit: Das Unternehmen modelliert die Ausfallsicherheit des Equipments des digitalisierten Produkts (z. B. Grid-Equipments) und informiert damit auch über Verbesserungsinvestitionen.	(SGMM Team 2011, S. 42)	X	-	-	-
6.1.9. Nutzer-Infrastruktur: Die notwendige Technologie-Infrastruktur ist bei den Nutzern vorhanden.	(Afonso et al. 2015, S. 234)	-	-	X	-
Legende: X enthalten; - nicht enthalten; E=Energy; M=Manufacturing; S=Smart City; T=Tourism					

Tabelle 63: Gestaltungsziele des Gestaltungsbereichs Product IT Architecture des DPMM

6.2.6.2 Gestaltungsbereich Service Design

Der Gestaltungsbereich *Service Design* umfasst alle Gestaltungsziele, die sich auf den durch das digitalisierte Produkt angebotenen Service für den Nutzer beziehen. Dabei wird ein breites Service-Verständnis verfolgt, das sowohl das Service-Verständnis der ISO (siehe Kapitel 4.2.2) als auch das der Service Science (siehe Kapitel 2.3) einschließt.

In Tabelle 64 finden sich die identifizierten und konsolidierten Gestaltungsziele für den Gestaltungsbereich, ihre Quelle sowie originäre Anwendungsdomäne.

6.2. Service Design		Quellen	E	M	S	T
6.2.1.	Service-Angebot: Unternehmen bietet Dienstleistungen/ Erkenntnisse zu ihrem Geschäft, Kunden und Partnern basierend auf den durch Produktverbesserung erhaltenen Daten an.	(Akdil et al. 2018, S. 71)	-	X	-	-
6.2.2.	Innovative Kundenprodukte sind möglicherweise verfügbar (z. B. Appliance Failure Prediction, Preventive Maintenance Programs).	(SGMM Team 2011, S. 46)	X	-	-	-
6.2.3.	Stakeholder Integration: Formale Prozesse, die Anbieter, Lieferanten und Nutzer in einem frühen Stadium in das Service Design als Inputgeber einbinden, sind dokumentiert.	(The Scottish Government et al. 2014, S. 12 und 39)	-	-	X	-
6.2.4.	Öffentliche Partizipation: Social Media und Mobile Apps werden genutzt, um die öffentliche Partizipation zu ermöglichen, Meinungen einzuholen und in das Service Design im Rahmen eines etablierten formalen Prozesses miteinfließen zu lassen.	(The Scottish Government et al. 2014, S. 41)	-	-	X	-
6.2.5.	Digitale Services: Levels of Access und take-up digitaler Services sind bekannt, geteilt und verstanden. Die Information wird genutzt, um zukünftige Entwicklung von digitalen Services zu priorisieren.	(The Scottish Government et al. 2014, S. 39)	-	-	X	-
6.2.6.	Service Levels: Die zu erzielenden Ergebnisse und Service-Levels (z. B. der Smart City) sind definiert, nicht nur In- und Outputs.	(The Scottish Government et al. 2014, S. 40)	-	-	X	-
6.2.7.	Unternehmensübergreifende Services: Die Nutzer profitieren von integrierten Services zwischen Unternehmen unter Nutzung der für sie besten digitalen Technologie.	(The Scottish Government et al. 2014, S. 12)	-	-	X	-
6.2.8.	Customer Experience: Eine Standard-Kundenerfahrung (engl. <i>customer experience</i>) wurde integriert, die über sämtliche Kundenkontaktpunkte für alle Services angeboten wird.	(SGMM Team 2011, S. 45)	X	-	-	-
6.2.9.	Produktindividualisierung: Produkte können (auf hohem Niveau) individualisiert werden.	(Schumacher et al. 2016, S. 164; Akdil et al. 2018, S. 71–74)	-	X	-	-
6.2.10.	Nachhaltigkeit: Services für Nachhaltigkeit werden angeboten (z. B. Carbon-Emission-Programme).	(SGMM Team 2011, S. 46)	X	-	-	-
6.2.11.	Steuerungsmöglichkeiten: Den Kunden werden verschiedene Steuerungsmöglichkeiten (z. B. mittels Präferenzprofile oder aktives Management) angeboten, für z. B. Remote Connect und Disconnect, Nutzungslevel-Verwaltung, End-to-End-Energy-Supply-Verwaltung oder Energy-based-Environmental-Footprint-Kontrolle.	(SGMM Team 2011, S. 43, 45 und 56)	X	-	-	-
6.2.12.	Verbrauchsniveau und Empfehlungen: Das Verbrauchsniveau nach Geräte ist verfügbar, genauso wie Preis-basierte Gebrauchszeit-Empfehlungen (dies ist nur unter der Annahme möglich, dass die Fähigkeit der Überwachung individueller Geräte umgesetzt wurde).	(SGMM Team 2011, S. 46)	X	-	-	-

6.2. Service Design	Quellen	E	M	S	T
6.2.13. In-home Net-Billing-Programme werden ermöglicht (z. B. für durch Kunden ans Grid verfügbar gemachter Strom von Solar Panels oder Elektrofahrzeuge).	(SGMM Team 2011, S. 44)	X	-	-	-
6.2.14. Bürger-Accounts sind verfügbar und anwendbar auf den vollen Serviceumfang in der Stadt. Die geteilten persönlichen Daten sind dabei sicher.	(The Scottish Government et al. 2014, S. 42)	-	-	X	-
Legende: X enthalten; - nicht enthalten; E=Energy; M=Manufacturing; S=Smart City; T=Tourism					

Tabelle 64: Gestaltungsziele des Gestaltungsbereichs Service Design des DPMM

6.2.6.3 Gestaltungsbereich Data and AI

Der Gestaltungsbereich *Data and AI* umfasst alle Gestaltungsziele, die sich mit dem als intelligent bezeichnetes Verhalten des digitalisierten Produktes und Daten im Allgemeinen befassen. Hierunter fallen dementsprechend Aspekte der Daten-Analyse und der künstlichen Intelligenz.

Grundsätzlich könnte der Gestaltungsbereich auch dem Gestaltungsbereich *Service Design* untergeordnet werden. Ein eigener Bereich ist jedoch aufgrund der Menge der Gestaltungsziele notwendig.

Inhaltlich überschneidet sich der Gestaltungsbereich mit der Dimension *Organizational Data and Analytics*. Die Gestaltungsbereiche und -ziele der Dimension *Organizational Data and Analytics* sind jedoch breiter aufgestellt und fokussieren mehr auf die Unternehmensseite (statt auf die Kundenseite) sowie auf die übergreifenden Aspekte der Sicherheit und Privatsphäre.

Dementsprechend betrachtet dieser Gestaltungsbereich in Kontrast dazu die Daten und Aspekte der künstlichen Intelligenz, die direkt das digitalisierte Produkt betreffen

In Tabelle 65 finden sich die identifizierten und konsolidierten Gestaltungsziele für den Gestaltungsbereich, sowie die jeweilige Quelle und ursprüngliche Anwendungsdomäne.

6.3. Data and AI		Quellen	E	M	S	T
6.3.1.	Datensammlung und -speicherung: Die Unternehmensprodukte sind fähig, Daten zu sammeln und sie innerhalb ihres Systems oder in der Cloud aufzubewahren.	(Akdil et al. 2018, S. 71)	-	X	-	-
6.3.2.	Entscheidungsfindung: Systemweite analysebasierende und automatische Entscheidungsfindung des digitalisierten Produktes ist umgesetzt. (Diese Fähigkeit ist abhängig von vollständiger Beobachtbarkeit und Vertrauen. Ob hierbei zentralisierte oder verteilte Steuerung besser geeignet ist, sollten im Rahmen der Strategie und Entwurf jedes Unternehmens adressiert werden).	(SGMM Team 2011, S. 29)	X	-	-	-
6.3.3.	Autonomic Computing unter Nutzung von Machine Learning wurde eingeführt. Der menschliche Operator erhält dadurch eine neue Rolle indem er allgemeine Richtlinien und Regel definiert, die als Input für den Self-Management-Prozess dienen, der wiederum in Echtzeit durch das rechnergestützte System verwaltet wird.	(SGMM Team 2011, S. 39)	X	-	-	-
6.3.4.	Verteilte Intelligenz und analytische Capabilities: Die für die digitalisierten Produkte genutzte Technologie ermöglicht den Einsatz von fortgeschrittener verteilter Intelligenz und analytischer Capabilities	(SGMM Team 2011, S. 38)	X	-	-	-
6.3.5.	Behavior Modeling: Der Einsatz von Behavior Modeling ergänzt die Kundensegmentierung für die Entwicklung von Kundenprofilen.	(SGMM Team 2011, S. 45)	X	-	-	-
6.3.6.	Predictive Modelling: Nutzung der Möglichkeiten des Predictive Modelling von Kundenbedürfnissen, z. B. zur Ermittlung von Bedarfsspitzen bei der Stromversorgung.	(SGMM Team 2011, S. 45)	X	-	-	-
6.3.7.	Datenanalysen: Die Produkte können deskriptive, diagnostische, prädiktive und präskriptive Datenanalysen durchführen.	(Akdil et al. 2018, S. 71)	-	X	-	-
6.3.8.	Selbsteilungsfähigkeiten bzw. -konzepte (inklusive Personen, Prozesse, etc.) sind vorhanden. So kann z. B. ein Smart Grid dadurch automatisch Störungen in der Stromversorgung antizipieren und entsprechend reagieren (Isolation von ausgefallenen Sektionen und Komponenten, Optimierung der Performanz und der Services, etc.).	(SGMM Team 2011, S. 29)	X	-	-	-
6.3.9.	Objekt-Überwachung: Einzelne Geräte bzw. Objekte können überwacht werden, wodurch die automatisierte Erfassung von Ausfällen anderer Geräte als dem digitalisierten Produkt, die aber Teil des Netzwerks sind, möglich ist.	(SGMM Team 2011, S. 45)	X	-	-	-
6.3.10.	Nutzungsdaten: Kunden haben Zugriff auf fast Echtzeitdaten bzgl. ihrer eigenen Nutzung (on-demand, up-to-the-minute).	(SGMM Team 2011, S. 44)	X	-	-	-
6.3.11.	Automatisierte Reaktion auf Preissignale (z. B. Leistungsnachfrage wird bei hohen Preisen verringert) ist möglich (inkludiert nicht nur die dafür nötige Technologie, sondern auch die Schulung der Nutzer in Bezug auf diese Fähigkeit).	(SGMM Team 2011, S. 44)	X	-	-	-
6.3.12.	Kunden-Support: Kunden erhalten Unterstützung bei der Analyse und dem Vergleich ihrer Nutzung mit allen verfügbaren Preisprogrammen.	(SGMM Team 2011, S. 44)	X	-	-	-

Legende: X enthalten; - nicht enthalten; E=Energy; M=Manufacturing; S=Smart City; T=Tourism

Tabelle 65: Gestaltungsziele des Gestaltungsbereichs Data and AI des DPMM

6.2.6.4 Zwischenevaluation des Teilergebnisartefaktes

Im Folgenden wird die Dimension *Product Design* anhand des in Kapitel 6.1 dargestellten Vorgehens teilevaluiert. Dabei werden aufgrund des Umfangs und getrennten Inhalte die Gestaltungsbereiche einzeln betrachtet:

Für den Gestaltungsbereich **Product IT Architecture** konnten neun Gestaltungsziele identifiziert werden, die drei der vier Anwendungsdomänen entstammen – *Energy* (5), *Manufacturing* (3) und *Smart City* (1). Die Anwendungsdomäne *Tourism* bietet demnach keine Gestaltungsziele für die Produkt-Architektur an. Auch die *Smart-City*-Domäne weist nur ein einziges Gestaltungsziel für den Bereich auf. Im Falle der *Smart-City*-Domäne könnte die niedrige Anzahl an Gestaltungszielen an dem höheren Abstraktionsgrad der Domäne (vgl. Kapitel 2.3.1) liegen. Im Fokus der Domäne stehen in der Regel weniger einzelne Produkte als vielmehr Produktgruppen bzw. andere Anwendungsdomänen und deren Produkte.

Die von den anderen Domänen entnommenen Ziele setzen unterschiedliche Schwerpunkte und weisen einen unterschiedlichen Abstraktionsgrad auf. Daher lassen sich keine direkten oder indirekten Überschneidungen bei den Gestaltungszielen identifizieren. Dementsprechend werden z. B. eine *Plattform-Architektur* (6.1.1) vorgeschlagen, die *Etablierung eines Sensorplans* (6.1.2), die Modellierung der *Ausfallsicherheit des Equipments* (6.1.8) oder die Möglichkeit des *Trackings des Produktes entlang des Lebenszyklus* (6.1.6.).

Der Abgleich mit den Herausforderungen digitalisierter Produkte aus Kapitel 3.4 ergibt die Relevanz folgender Herausforderungen für den Gestaltungsbereich:

- (H1) Begrenzte Hardware-Ressourcen der physischen Produkte und sich daraus ergebende Verfahren oder notwendige Substitute (z. B. Load Balancing, Intermediäre)
- (H2) Genauigkeit der Sensoren
- (H3) Verlässlichkeit der (Basis-)Funktionalität, insbesondere in Domänen, die zu einer Gefährdung menschlichen Lebens führen können
- (H4) Fehlende Infrastruktur am Produkt-Einsatzort

Die Herausforderung der begrenzten Hardware-Ressourcen (H1) wird durch kein Gestaltungsziel begegnet. Inhaltlich ist dabei auch die Unternehmensarchitektur mitbetroffen. Die Gestaltungsziele der Unternehmensarchitektur adressieren die Problematik allerdings ebenfalls nicht (Kapitel 6.2.5). Gleichzeitig sollte z. B. der dort angestrebte *IT-Architektur-Plan* zur Ermöglichung digitalisierter Produkte (5.1.12) diesen Aspekt mitberücksichtigen.

Eine vollständige Abdeckung kann daher nicht identifiziert werden. Ein ergänzendes Gestaltungsziel könnte daher dem Unternehmen helfen, frühzeitig entsprechende Maßnahmen und Architektur Aspekte zu planen. Es wird daher das folgende neue Gestaltungsziel vorgeschlagen:

6.1.10 Ressourcen-Einschränkungen: Berücksichtigung begrenzter Hardware-Ressourcen der physischen Produkte durch Planung und Umsetzung von entsprechenden Maßnahmen (z. B. Load Balancing) und Substituten (z. B. Intermediäre) im Architektur-Design, u. a. zur Ermöglichung von Sicherheits- und Privatsphäremaßnahmen.

Die Herausforderung der Genauigkeit der Sensoren (H2) wird durch den *Sensorplan* (6.1.2) in Teilen begegnet. Der Fokus hierbei ist u. a. die Nutzung von hochentwickelten Sensoren, die entsprechend genauere Ergebnisse liefern können. Nicht explizit berücksichtigt sind hierbei indes die vorausschauende Planung und der Umgang mit weniger genauen Sensoren, falls diese zum Einsatz kommen (z. B. aus Kostengründen oder wegen fehlenden besseren Sensoren).

Grundsätzlich könnten die Sensoren durch das im Rahmen der ersten Herausforderung neu entwickelte Gestaltungsziel 6.1.10 mitabgedeckt werden und die Genauigkeit damit als begrenzte Hardware-Ressource aufgefasst werden. Da Sensoren gleichwohl ein zentrales Konzept vieler digitalisierter Produkte in der Praxis darstellen und zur Umsetzung vieler mit digitalisierten Produkten assoziierten Funktionen dienen, wird eine inhaltliche explizit machende Erweiterung des Gestaltungsziels 6.1.2 zur Begegnung der Herausforderung vorgeschlagen:

6.1.2 Sensorplan: Das Unternehmen besitzt einen fortgeschrittenen Sensorplan, kann sich auf Situational Awareness oder fast Echtzeitsteuerung fokussieren und z. B. die Nutzung von hochentwickelten Sensoren inkludieren. Es besitzt zudem einen ergänzenden Maßnahmenplan für den Einsatz weniger hochentwickelter Sensoren.

Der Herausforderung der Verlässlichkeit der (Basis-)Funktionalität (H3) wird durch die Planung und Etablierung von ergänzenden Ressourcen z. B. *Substitute* für die Verlässlichkeit bzw. Ausfallsicherheit (6.1.4) und der *Modellierung der Ausfallsicherheit* (6.1.8) begegnet.

Die Verlässlichkeit der Basisfunktionalität spielt insbesondere in Domänen mit einer potentiellen Gefährdung menschlichen Lebens im Falle einer Störung oder Fehlfunktion eine zentrale Rolle. Um daher die einwandfreie Funktionalität zu gewährleisten, könnten die vorhandenen Ziele entweder sprachlich-inhaltlich ergänzt werden oder bei der Zuordnung der Umsetzungsgrade als umzusetzende Ziele des ersten Reifegrads definiert werden. Letzteres würde allerdings bedeuten, dass dies für alle Domänen unabhängig von einer etwaigen menschlichen Gefährdung notwendig wäre. Dabei ist ebenfalls zu berücksichtigen, dass weitere Ressourcen zur

Gewährleistung der Ausfallsicherheit etc. auch mit entsprechenden Kosten verbunden sind, die evtl. nicht jedes Unternehmen in jeder Domäne fähig ist zu tragen.

Daher wird eine sprachlich-inhaltliche Lösung, also eine Ergänzung der Gestaltungsziele, an dieser Stelle bevorzugt:

6.1.4 **Substitute**: Ergänzende Ressourcen (z. B. Speicher) sind verfügbar und einsatzbereit, um Substitute für Marktprodukte anzubieten, und damit Verlässlichkeit bzw. Ausfallsicherheit oder andere Ziele zu unterstützen *insb. in Domänen, die eine Gefährdung menschlichen Lebens bedingen, notwendig.

6.1.8 **Ausfallsicherheit**: Das Unternehmen modelliert die Ausfallsicherheit des Equipments des digitalisierten Produkts (z. B. Grid-Equipments) und informiert damit auch über Verbesserungsinvestitionen *insb. in Domänen, die eine Gefährdung menschlichen Lebens bedingen, notwendig

Langfristig könnte eine formal-inhaltliche Ergänzung des DPMM zur Priorisierung von Zielen anhand der Zieldomäne eine sinnvolle Ergänzung darstellen.

Die Planung und Etablierung von ergänzenden Ressourcen, die z. B. als *Substitute* fungieren (6.1.4), tangiert dabei auch die letzte Herausforderung, die fehlende *Infrastruktur* am Einsatzort (H4). Diese ist bereits durch ein eigenes Gestaltungsziel (6.1.9) abgedeckt.

Für den Gestaltungsbereich **Service Design** konnten 14 Gestaltungsziele identifiziert werden, die drei der vier Anwendungsdomänen entstammen. Die Anwendungsdomänen *Energy* und *Smart City* stellen jeweils sechs Gestaltungsziele. Die *Manufacturing*-Domäne bietet dagegen nur zwei Gestaltungsziele und die *Tourism*-Domäne keine. Dabei gibt es keine direkten Überschneidungen bei den Zielen über Domänengrenzen hinweg.

Inhaltlich geben die Gestaltungsziele vor, wer in das *Service Design wie mit eingebunden werden soll* (z. B. 6.2.3, 6.2.4) – was vor allem durch die *Smart-City*-Domäne getrieben ist – und welche Funktionen die Services anbieten, z. B. *Individualisierung* (6.2.9), *Steuerungsmöglichkeiten* (6.2.11) oder *Informationswiedergabe* (6.2.12).

Der Abgleich mit den Herausforderungen digitalisierter Produkte aus Kapitel 3.4 ergibt die Relevanz folgender Herausforderungen für den Gestaltungsbereich:

- (H1) Notwendigkeit neuer Design-Prinzipien zur Gestaltung digitalisierter Produkte
- (H2) Darstellung einer Vielzahl heterogener Informationen und damit verbundene Fragestellungen und Herausforderungen
- (H3) Anpassbares Design an dynamische Veränderungswünsche zur Nutzungszeit (Redesign)

- (H4) Long-Term vs. Short-Term Use Design
- (H5) Kohärenz der visuellen Darstellung und des Systemverhaltens
- (H6) Schaffung und Aufrechterhaltung werterzeugender Interaktionen mit dem Nutzer
- (H7) Gestaltung der User Experience
- (H8) Ablenkung vom Produkt durch Bedienung der technologischen Komponente
- (H9) Handlungsempfehlungen müssen weitere Umweltfaktoren berücksichtigen
- (H10) Fehlende Autorität bei Zielvorgaben
- (H11) Aufdringlichkeit des Produkts
- (H12) Durchführung von Wartungsarbeiten durch den Nutzer
- (H13) Produkt-Wahrnehmung durch den Nutzer
- (H14) Selbstwahrnehmung und Image-Bedürfnisse des Nutzers
- (H15) Verknüpfung und Koordination von Produkt- & Cloud-Funktionalität

Der Herausforderung der Notwendigkeit neuer Design-Prinzipien (H1) kann grundsätzlich nicht durch die Gestaltungsziele bzw. das DPMM begegnet werden. Die Herausforderung betrifft zwar das Design der digitalisierten Produkte, der Einsatzzweck und der Fokus eines Reifegradmodells liegen allerdings woanders.

Die Herausforderung der Darstellung einer Vielzahl heterogener Informationen (H2) wird bisher ebenfalls nicht durch die Gestaltungsziele begegnet. Anders als die vorangegangene Herausforderung, kann das DPMM durch die Ergänzung um ein neues Gestaltungsziel der Herausforderung jedoch begegnen:

6.2.15 Heterogene Informationen: Entwurf eines Designs, das die Vielzahl heterogener Informationen und deren Darstellungsoptionen berücksichtigt.
--

Der Herausforderung der dynamischen Designanpassungen (H3) wird durch die Option der *Produktindividualisierbarkeit* (6.2.9) und der *Integration von Stakeholdern im Service-Design* (6.2.3, 6.2.4) begegnet. Größere Änderungen am Produktdesign, die die Individualisierungsmöglichkeiten übersteigen und einen Redesign-Prozess benötigen sind dabei jedoch nicht berücksichtigt. Auch der Gestaltungsbereichs für den Entwicklungsprozess (Kapitel 6.2.4) bietet hierfür keine Lösung und betont ebenfalls lediglich die enge Kollaboration mit den Stakeholdern.

Daher empfiehlt sich für die Herausforderung ein neues Gestaltungsziel. Aufgrund der inhaltlichen Abhängigkeit wird auch die Herausforderung des Long-Term vs. Short-Term-Design (H4), für die ebenfalls noch kein Gestaltungsziel existiert, mit-

adressiert. Die Planung von Redesigns bzw. des Redesign-Prozesses ist direkt abhängig ob ein eine kurzfristige oder langfristige Nutzung des Produkts angestrebt wird:

6.2.16 **Short/Long-Term Use und Redesign-Planung:** Gestaltung des Designs für Short- oder Long-Term-Use unter Berücksichtigung ökologischer und ethischer Implikationen und damit verbundene Planung zukünftiger Redesigns zur Nutzungszeit.

Die Kohärenz der visuellen Darstellung (H5) wurde bereits im Gestaltungsbereich *Communications and Networks* der Dimension *Technology Support and Communication* (Kapitel 6.2.5) aufgegriffen. Eine Abdeckung der Herausforderung konnte hierbei jedoch nicht erzielt werden.

Im Rahmen dieses Gestaltungsbereichs tangiert lediglich das Gestaltungsziel der *Standard-Kundenerfahrung* (6.2.8) die Herausforderung. Eine vollständige Abdeckung kann dadurch jedoch ebenfalls nicht erzielt werden, da eine Standard-Kundenerfahrung grundsätzlich auch unterschiedlich dargestellt sein könnte.

Daher empfiehlt sich zur Sicherstellung der Abdeckung der Herausforderung ein neues Gestaltungsziel:

6.2.17 **Kohärenz** der visuellen Darstellung und des Systemverhaltens über alle Touchpoints hinweg wurde erzielt

Die Herausforderung der Schaffung und Aufrechterhaltung werterzeugender Interaktionen mit dem Nutzer (H6) wird nicht direkt durch die Gestaltungsziele begegnet. Durch die Betonung der *Integration der Stakeholder in den Gestaltungsprozess* (6.2.3, 6.2.4), der *Verbesserung der Services anhand der gesammelten Daten* (6.2.1) und den verschiedenen angebotenen Funktionen (z. B. 6.2.11, 6.2.9) kann angenommen werden, dass eine gewisse werterzeugende Interaktion mit dem Nutzer geschaffen wird.

An dieser Stelle ist jedoch eine Abschätzung, inwieweit dies ausreichend ist und auch langfristig aufrechterhalten werden kann, schwierig. Daher wird empfohlen diesen für die Kundenbindung wichtigen Aspekt als separates Gestaltungsziel zu ergänzen:

6.2.18 **Nutzerinteraktion:** Es wurden Maßnahmen ein- und durchgeführt, um werterzeugende Interaktionen mit dem Nutzer zu schaffen und aufrechtzuerhalten.

Die Herausforderung der Gestaltung der User Experience (dt. Nutzererfahrung) (H7) wird lediglich durch die *Gestaltung der Standard-Kundenerfahrung* (6.2.8) direkt adressiert. Die anderen Gestaltungsziele wie z. B. die *Integration der Stakeholder in den Gestaltungsprozess* (6.2.3, 6.2.4) tangieren dabei die Gestaltung der User Experience als Beiprodukt. Sie legen allerdings keinen Fokus darauf.

Dementsprechend wird auch hier aufgrund der Bedeutung der Kundenbindung für den Erfolg des Produkts empfohlen, ein separates Gestaltungsziel zu ergänzen.

Darüber hinaus sollte ergänzend die nachfolgende Herausforderung der Produkt-Ablenkung durch Bedienung der technologischen Komponente (H8) in die Gestaltung des Ziels miteinfließen. Auch diese Herausforderung findet keine Berücksichtigung in den bisherigen Gestaltungszielen, adressiert aber ebenfalls die Nutzererfahrung.

Daher empfiehlt sich die Ergänzung um das folgende Gestaltungsziel:

6.2.19 **User Experience:** Während des Service Designs wird die Nutzererfahrung (User Experience) konkret adressiert und entsprechende Maßnahmen hierfür ergriffen, die dabei auch berücksichtigen, dass die dabei notwendige Bedienung nicht als ablenkend vom Produkt empfunden wird.

Die Herausforderung der Berücksichtigung von Umweltfaktoren bei Handlungsempfehlungen (H9) wird ebenfalls nicht durch die Gestaltungsziele berücksichtigt, obwohl Handlungsempfehlungen bei einigen digitalisierten Produkten ein Teil der zentralen Funktionalität darstellen (z. B. im Smart-Health-Bereich verschiedene Gesundheitsempfehlungen).

Ursprung der Herausforderung war dabei eine Nutzererfahrung, bei der das digitalisierte Gesundheitsprodukt zu bestimmten Zeiten entgegen der Produkt-Empfehlung nicht weiter eingesetzt wurde, zugunsten der Spielzeit mit dem Kind (Lazar et al. 2015, S. 639). Bestimmte unberücksichtigte Umweltfaktoren können daher die Ergebnisqualität und die wahrgenommene Nutzererfahrung beeinträchtigen, sodass möglichst viel über den Nutzungskontext bekannt und antizipiert werden muss.

Diesem Problem sollte jedoch aufgrund der geforderten engen *Zusammenarbeit mit den Stakeholdern* nicht nur im Service Design (6.2.3, 6.2.4), sondern in den verschiedensten Bereichen und Prozessschritten (z. B. bei der *Strategieentwicklung* siehe 1.1.4 in Kapitel 6.2.1) indirekt entgegengewirkt werden können. Daher wird die Ergänzung um ein neues Gestaltungsziel nicht als notwendig erachtet.

Der Herausforderung der fehlenden Autorität bei Zielvorgaben (H10) findet ebenfalls keine Berücksichtigung in den Gestaltungszielen. Die Herausforderung basiert auf der Beobachtung, dass Zielvorgaben durch ein digitalisiertes Produkt als ignorierbare Empfehlungen statt Vorschriften durch Nutzer bewertet werden. Die Produkte besitzen demnach weniger Autorität als dieselbe Empfehlung durch z. B. einen betreuenden Arzt oder allgemeine Gesundheitsbotschaften aus anderen Quellen (Lazar et al. 2015, S. 639).

Da dies ggf. Nachteile in Bezug auf die Wirksamkeit des Produktes haben kann, empfiehlt sich ein ergänzendes Gestaltungsziel:

6.2.20 **Wahrgenommene Autorität:** Während des Service Design wird die wahrgenommenen Autorität der Nutzer bei Zielvorgaben und Handlungsempfehlungen durch das Produkt geprüft und ggf. notwendige Maßnahmen zur Sicherstellung ergriffen.

Die Herausforderung der wahrgenommenen Aufdringlichkeit des Produkts (H11) wird ebenfalls nicht in den Gestaltungszielen berücksichtigt. Wird ein Produkt als zu aufdringlich (z. B. zu groß, zu schwer) empfunden, hat dies Auswirkungen auf die langfristige Nutzung und damit Kundenbindung (Lazar et al. 2015, S. 640). Da bei der Gestaltung die *enge Zusammenarbeit mit den Stakeholdern* fokussiert wird (6.2.3, 6.2.4) als auch *Pilot-Projekte/Demonstrationen* (siehe 4.3.10 in Kapitel 6.2.4) empfohlen werden, scheint die Ergänzung um ein neues Gestaltungsziel nicht zielführend.

Die Herausforderung der Durchführung von regelmäßigen Wartungsarbeiten durch den Nutzer (z. B. Aufladen, Verbinden, Kalibrieren) wird, wenn diese nicht zur Routine des Nutzers passen (H12), als negativ wahrgenommen, wenn sie die Vorteile des Produkts überwiegen (Lazar et al. 2015, S. 639–640). Bisher wird diese Herausforderung nicht in den Gestaltungszielen berücksichtigt. Da sie aber Auswirkung auf die langfristige Nutzung hat empfiehlt sich ein ergänzendes Gestaltungsziel:

6.2.21 **Wartungsaufwand:** Praxistests überprüfen den Aufwand für regelmäßig notwendiger Wartungsarbeiten durch den Nutzer.

Die Herausforderung der Produkt-Wahrnehmung durch den Nutzer (H13) bezieht sich auf Aspekte wie den Komfort beim Tragen des Produkts. Auch diese müssen abhängig vom Produkttyp bei der Entwicklung und Gestaltung frühzeitig mitberücksichtigt werden. Gleiches gilt für die Selbstwahrnehmung und die Image-Bedürfnisse der Nutzers (H14). Da bei der Gestaltung die *enge Zusammenarbeit mit den Stakeholdern* fokussiert wird (6.2.3, 6.2.4), als auch *Pilot-Projekte/Demonstrationen* (siehe 4.3.10 in Kapitel 6.2.4) empfohlen werden, scheint die Ergänzung um neue Gestaltungsziele hierbei jedoch nicht zielführend.

Die Herausforderung der Verknüpfung von Produkt- und Cloud-Funktionalität (H15) stellt eine übergreifende Herausforderung dar. Einerseits wird hierbei die technologische Verknüpfung adressiert – und damit die Produkt-IT-Architektur – und andererseits die inhaltliche Verknüpfung – und damit das Service-Angebot.

Gleichzeitig handelt es sich auch um eine strategische Fragestellung, da verschiedene Faktoren berücksichtigt werden müssen und die Entscheidung langfristige Auswirkungen haben kann (Porter und Heppelmann 2014a, S. 78–79): Werden

die Funktionen in dem Produkt eingebettet, kann das die Kosten für jedes Produkt erhöhen. Darüber hinaus haben auch weitere Aspekte Einfluss auf die mögliche Einbettung im Produkt oder die Bereitstellung durch die Cloud, wie etwa benötigte Antwortzeiten (Response Time), mögliche und notwendige Netzwerkverfügbarkeit, -zuverlässigkeit und Sicherheit, der Produkteinsatzort, die Art des Nutzerinterfaces oder die notwendige Häufigkeit von Produktupgrades.

Die gezielte Planung der adäquaten und sinnvollen Verknüpfung von Produkt- und Cloud-Funktionalität wird bisher in keinem der Gestaltungsbereiche adressiert.

Jedoch sollte aufgrund der Komplexität und den dadurch entstehenden Auswirkungen der Beantwortung dieser Fragestellung die Herausforderung nicht unberücksichtigt bleiben, sodass ein neues Gestaltungsziel vorgeschlagen wird. Hierfür wird das neue Gestaltungsziel aufgrund der inhaltlichen Nähe im *Service Design* verankert statt z. B. in der Produkt-IT-Architektur:

6.2.22 **Funktionalitätsverordnung:** Es ist geklärt, inwieweit Funktionalität im digitalisierten Produkt eingebettet wird oder durch die Cloud bereitgestellt wird. Dies geschieht unter der Berücksichtigung von Faktoren wie z. B. Kosten, notwendige Antwortzeiten, Netzwerkverfügbarkeit und -zuverlässigkeit, Sicherheit, Produkteinsatzort und Häufigkeit von Produktupgrades.

Für den Gestaltungsbereich **Data and AI** konnten 12 Gestaltungsziele identifiziert werden, die zwei der vier Anwendungsdomänen (*Energy* und *Manufacturing*) entstammen. Die meisten davon (10) entfallen dabei allein auf die Anwendungsdomäne *Energy*.

Im Fokus des Gestaltungsbereichs stehen die Datensammlungs- und Datenauswertungsmöglichkeiten des digitalisierten Produkts. Daher befassen sich die Gestaltungsziele inhaltlich mit Aspekten wie z. B. der *Entscheidungsfindung* (6.3.2.), dem *Machine Learning* (6.3.3.) oder der *automatisierten Reaktion* (6.3.11.). Diese sollen durch das Produkt funktional ermöglicht werden.

Für den Gestaltungsbereich konnten verschiedene Herausforderungen identifiziert werden, diese sind jedoch deckungsgleich mit den Herausforderungen für den Gestaltungsbereich *Data Analysis and Application* der Dimension *Organizational Data and Analytics* (Kapitel 6.2.7) und werden daher gemeinsam im Rahmen des Gestaltungsbereichs *Data Analysis and Application* besprochen.

6.2.7 Dimension Organizational Data and Analytics des DPMM

Die Gestaltungsdimension *Organizational Data and Analytics* dient der Erfassung aller Aspekte, die sich mit der Sammlung, Aufbereitung und Analyse von Daten im Kontext der Entwicklung und des Betriebes von digitalisierten Produkten befassen (siehe Kapitel 5.2.3).

Die Gestaltungsdimension und ihre Gestaltungsbereiche grenzen sich vom Gestaltungsbereich *Data and AI* der Gestaltungsdimension *Product Design* durch ihren allgemeineren Charakter ab. Der Bereich *Data and AI* der *Product-Design-Dimension* fokussiert sich alleinig auf das digitalisierte Produkt. Der Einsatz von Datenanalysen zur Verbesserung der Unternehmensprozesse ist dabei nicht abgedeckt. Daher beinhaltet die Dimension alle Themen, die nicht das digitalisierte Produkt betreffen, sondern alle anderen Komponenten des Ökosystems.

Die Bereichsmusteranalyse der Reifegradmodelle ergab dabei eine Aufteilung der Dimension in die folgenden Gestaltungsbereiche: (1) *Data Acquisition and Integration*; (2) *Data Analysis and Application*; (3) *Data Sharing* und (4) *Security and Privacy*.

Im Folgenden werden die Gestaltungsbereiche der Dimension *Data and Analytics* inhaltlich voneinander abgegrenzt und die aus den als Bezugsquelle genutzten Reifegradmodellen konsolidierten Gestaltungsziele in den zugehörigen Tabellen dargereicht.

6.2.7.1 Gestaltungsbereich *Data Acquisition and Integration*

7.1. <i>Data Acquisition and Integration</i>	Quellen	E	M	S	T
7.1.1. Datenerfassung: System-weite Datenerfassung vorhanden.	(The Scottish Government et al. 2014, S. 12)	-	-	X	-
7.1.2. Echtzeitdatenerfassung: Möglichkeiten zur Erfassung von Echtzeitdaten werden dabei mittels eines geführten Prozesses identifiziert und erforscht.	(The Scottish Government et al. 2014, S. 35)	-	-	X	-
7.1.3. Mega-Data-Pattern-Processing von Ressourcen und Daten (<i>Anm.: keine weiteren Angaben durch die entsprechenden Quellen</i>).	(Lim et al. 2019, o. S.)	-	-	-	X
7.1.4. Datenprozesse werden kontinuierlich überwacht, geprüft und auf agile Weise entwickelt, um die Optimierung sicherzustellen.	(The Scottish Government et al. 2014, S. 36)	-	-	X	-
7.1.5. Stammdatenmanagement (engl. Master Data Management) ist einsatzbereit.	(The Scottish Government et al. 2014, S. 36)	-	-	X	-
7.1.6. Integration von Ressourcen und Daten (<i>Anm.: keine weiteren Angaben durch die entsprechenden Quellen</i>).	(Lim et al. 2019, o. S.)	-	-	-	X
7.1.7. Big-Data-Integrationsanforderungen und Werkzeuge: Big-Data-Integrationsanforderungen sind verstanden und Werkzeuge zur Integration der Daten aus einer Vielzahl von Quellen sind vorhanden.	(The Scottish Government et al. 2014, S. 36)	-	-	X	-
Legende: X enthalten; - nicht enthalten; E=Energy; M=Manufacturing; S=Smart City; T=Tourism					

**Tabelle 66: Gestaltungsziele des Gestaltungsbereichs
Data Acquisition and Integration des DPMM**

Der Gestaltungsbereich *Data Acquisition and Integration* beinhaltet alle Gestaltungsziele, die die Datensammlung, das Datenmanagement und die Datenintegration umfassen. In Tabelle 66 finden sich die identifizierten und konsolidierten Gestaltungsziele für den Gestaltungsbereich

6.2.7.2 Gestaltungsbereich Data Analysis and Application

Der Gestaltungsbereich *Data Analysis and Application* beinhaltet alle Gestaltungsziele, die die Analysen der gesammelten Daten und die sich aus den Analysen ergebenden Anwendungsbereiche befassen. In Tabelle 67 finden sich die identifizierten und konsolidierten Gestaltungsziele für den Gestaltungsbereich sowie die Ursprungsquelle und Anwendungsdomäne der jeweiligen Gestaltungsziele.

7.2. Data Analysis and Application		Quellen	E	M	S	T
7.2.1.	Echtzeitdaten-Analysen: Analysen (inkl. Modellierung und Simulationen) basieren generell auf Echtzeitdaten.	(SGMM Team 2011, S. 27; Akdil et al. 2018, S. 71–74)	X	X	-	-
7.2.2.	Echtzeitdaten-Wiederverwendung: Echtzeitdaten werden für die Wiederverwendung verfügbar gemacht, inklusive durch APIs.	(The Scottish Government et al. 2014, S. 36)	-	-	X	-
7.2.3.	System-Verbesserung: Performanz-, Trendanalysen- und Event-Audit-Daten sind für individuelle Komponenten der Cyber-Systeme und physischen Systeme des Unternehmens verfügbar.	(SGMM Team 2011, S. 32)	X	-	-	-
7.2.4.	Service-Verbesserung: Datenerfassung und -analysen werden für die (dynamische, automatisierte, vorausschauende und vorsorgliche) Verbesserungen der Dienstleistungen und deren Design eingesetzt.	(Clarke 2013, S. 8; The Scottish Government et al. 2014, S. 12)	-	-	X	-
7.2.5.	Preisermittlung: Umgebungsdaten werden für den Produktpreis und die dynamische Preisermittlung genutzt.	(Akdil et al. 2018, S. 71–74)	-	X	-	-
7.2.6.	Prozess-Verbesserung: Die operativen Daten des digitalisierten Produkts werden genutzt um die Unternehmensprozesse zu verbessern.	(SGMM Team 2011, S. 28)	X	-	-	-
7.2.7.	Prozess-Support: In Betriebsabläufen mit Personal (engl. <i>Human Resources Operations</i>) werden die gesammelten Daten unterstützend eingesetzt.	(Akdil et al. 2018, S. 72–73)	-	X	-	-
7.2.8.	Support-Prozess-Optimierung: Predictive Modeling und/oder Fast-Echtzeit-Simulationen werden genutzt, um die Support-Prozesse zu optimieren.	(SGMM Team 2011, S. 39)	X	-	-	-
7.2.9.	Erfolgsmessung (Kampagnen): Datenanalysen werden eingesetzt, um die Performanz der Kampagnen zu messen.	(Akdil et al. 2018, S. 72–73)	-	X	-	-
7.2.10.	Produktverbesserung (Betriebsdauer): Condition-based und Predictive Maintenance basierend auf echten und aktuellen Datenbeständen werden eingesetzt, um die Betriebsdauer von Komponenten des digitalisierten Produkts zu steuern.	(SGMM Team 2011, S. 34)	X	-	-	-

7.2. Data Analysis and Application		Quellen	E	M	S	T
7.2.11. Echtzeit-Event-Reaktionen: Die Datenanalysen werden für Echtzeitreaktionen auf nicht vorhersehbare Events eingesetzt.	(The Scottish Government et al. 2014, S. 12)		-	-	X	-
7.2.12. Vorhersagen: Die Daten, die durch die Capabilities des digitalisierten Produktes gesammelt werden, werden für operationelle Vorhersagen (z. B. Problemvorhersagen) genutzt.	(SGMM Team 2011, S. 10 und 28)		X	-	-	-
7.2.13. Entscheidungsfindung: Die Datenbestände werden genutzt um handlungsrelevante Informationen zur Verfügung zu stellen, sodass die darauf basierenden Datenanalysen zur Verbesserung der Entscheidungsfindung eingesetzt werden.	(Clarke 2013, S. 8; The Scottish Government et al. 2014, S. 12)		-	-	X	-
7.2.14. Automatisierte Entscheidungsfindung in Bezug auf den operativen Betrieb des digitalisierten Produktes ist vorhanden. Diese basiert auf Wide Area Monitoring innerhalb von Protection Schemes (Plan zur Sicherstellung der Stabilität).	(SGMM Team 2011, S. 27-28 und 76)		X	-	-	-
7.2.15. Organisationsübergreifend Datenanalysen: Datenanalysen werden umfangreich und organisationsübergreifend eingesetzt, um die Dienstleistungserbringung, das Teilen von Informationen und den besseren Einsatz von Ressourcen zu unterstützen.	(The Scottish Government et al. 2014, S. 35)		-	-	X	-
7.2.16. Situational Awareness: Daten des digitalisierten Produktes werden von den Sicherheitsfunktionen des Unternehmens genutzt, um die Situational Awareness und Diagnosemaßnahmen zu unterstützen.	(SGMM Team 2011, S. 27)		X	-	-	-
7.2.17. Kundengruppensicht: Eine vollständige Sicht auf spezifische Kundengruppen ist vorhanden und wird durch eine integrierte Geschäfts- und Informationsarchitektur unterstützt.	(The Scottish Government et al. 2014, S. 42)		-	-	X	-
Legende: X enthalten; - nicht enthalten; E=Energy; M=Manufacturing; S=Smart City; T=Tourism						

**Tabelle 67: Gestaltungsziele des Gestaltungsbereichs
Data Analysis and Application des DPMM**

6.2.7.3 Gestaltungsbereich Data Sharing

Der Gestaltungsbereich *Data Sharing* umfasst alle Gestaltungsziele, die das Teilen der Daten innerhalb des Unternehmens und außerhalb des Unternehmens mit verschiedenen Stakeholdern adressieren. In Tabelle 68 finden sich die identifizierten und konsolidierten Gestaltungsziele für den Gestaltungsbereich sowie ihre Ursprungsquelle und originäre Anwendungsdomäne.

7.3. Data Sharing		Quellen	E	M	S	T
7.3.1.	Vorgaben und Performanz: Data-Sharing-Vorgaben existieren und die Performanz wird gemessen.	(The Scottish Government et al. 2014, S. 36)	-	-	X	-
7.3.2.	Unternehmensinterne End-to-end Observability: Informationen des digitalisierten Produktbetriebs wurde über alle Funktionen und Geschäftsfelder hinweg verfügbar gemacht, so können z. B. auch Außendienstmitarbeiter auf Echtzeitdaten zugreifen.	(SGMM Team 2011, S. 28; Clarke 2013, S. 8; Akdil et al. 2018, S. 71–74)	X	X	X	-
7.3.3.	Wertschöpfungskette: Das Unternehmen identifiziert Kosten, Vorteile und Bedarf an Information Sharing innerhalb der Wertschöpfungskette.	(SGMM Team 2011, S. 48)	X	-	-	-
7.3.4.	Partner (Policies, Strategie): Die Partner haben sich auf eine Datenmanagement- und Optimierungsstrategie sowie Data-Sharing-, Privacy- und Management-Policies geeinigt, die miteinander (Strategie und Policies) verknüpft sind.	(The Scottish Government et al. 2014, S. 12 und 35)	-	-	X	-
7.3.5.	Partnern (Gebührenerfassung): Eine formale Richtlinie ist vorhanden und ein Prozess für die Gebührenerfassung für die Daten und den Einkauf zusätzlicher 3rd-Party-Daten zur Nutzung zwischen Partnern.	(The Scottish Government et al. 2014, S. 35)	-	-	X	-
7.3.6.	Organisationsübergreifend (Governance): Eine Governance-Struktur, um die organisationsübergreifende Erfassung und das Teilen von Echtzeitdaten zu unterstützen, ist vorhanden. Alle Unternehmen, die Command-Control-Response-Anforderungen besitzen, sind involviert.	(The Scottish Government et al. 2014, S. 36)	-	-	X	-
7.3.7.	Stakeholder (Transparenz): Die Stakeholder (z. B. Industrie, Hochschulen, Regierung, Bürger) teilen vertrauenswürdige Daten (in großem Umfang) miteinander.	(SGMM Team 2011, S. 10; The Scottish Government et al. 2014, S. 12; Lim et al. 2019, o. S.)	X	-	X	X
7.3.8.	Open Data (Strategie): Open-Data-Initiativen basieren auf einer Strategie, um Ideen mittels Crowdsourcing zu generieren (z. B. Hackathons), Zugriff auf lokale Talente zu erhalten oder Betrieben die Nutzung von Daten für die Entwicklung kommerzieller Services zu ermöglichen (Innovation).	(Clarke 2013, S. 17; The Scottish Government et al. 2014, S. 12; Lim et al. 2019, o. S.)	-	-	X	X

7.3. Data Sharing		Quellen	E	M	S	T
7.3.9.	Open Data (Community-Developments): Die Open-Data-Community generiert neue Marktchancen/Services und schaffen Alternativen zur öffentlichen Leistungserbringung.	(The Scottish Government et al. 2014, S. 12)	-	-	X	-
7.3.10.	Open Data (Community-Support): Ein Portal, physische Räume und virtuelle Mechanismen (z. B. Online Foren, Collaborative Workspaces) für das Teilen von Open Data sind vorhanden und unterstützen die Open-Data-Communities.	(The Scottish Government et al. 2014, S. 35)	-	-	X	-
7.3.11.	Beschaffung: Interoperabilität basierend auf offenen Standards und das Öffnen von Daten ist von Anfang an in allen Beschaffungen konzipiert. Lieferanten-lock-in wird, wenn möglich, vermieden.	(The Scottish Government et al. 2014, S. 40)	-	-	X	-
7.3.12.	Datenanfragen durch Kunden: Ein geführter Prozess für Kunden (z. B. Bürger oder Geschäfte einer Smart City) zur Anfrage zusätzliche Datensets zugänglich zu machen, ist vorhanden.	(The Scottish Government et al. 2014, S. 36)	-	-	X	-
7.3.13.	Crowd-sourced-Daten werden regelmäßig gesammelt und veröffentlicht. Dies beinhaltet die Praktik benötigte Services, Ideen oder Inhalt durch Werben um große Gruppen, z. B. die Online-Community anstelle von traditionellen Mitarbeitern oder Lieferanten, zu gewinnen.	(The Scottish Government et al. 2014, S. 35)	-	-	X	-
7.3.14.	Ende-zu-Ende-Datenfluss: Abhängig von den Sicherheits-, Privatsphäre- und Performanzanforderungen existiert ein Ende-zu-Ende-Datenfluss von der Datenerzeugung beim Unternehmen bis zum Kunden.	(SGMM Team 2011, S. 38)	X	-	-	-
Legende: X enthalten; - nicht enthalten; E=Energy; M=Manufacturing; S=Smart City; T=Tourism						

Tabelle 68: Gestaltungsziele des Gestaltungsbereichs Data Sharing des DPMM

6.2.7.4 Gestaltungsbereich Security and Privacy

Der Gestaltungsbereich *Security and Privacy* umfasst alle Gestaltungsziele, die sich mit der Sicherheit und Privatsphäre, insbesondere der personenbezogener Daten, befassen. In Tabelle 69 finden sich die identifizierten und konsolidierten Gestaltungsziele für den Gestaltungsbereich sowie ihre Ursprungsquelle und originäre Anwendungsdomäne.

7.4. Security and Privacy	Quellen	E	M	S	T
7.4.1. Die Sicherheitsstrategie und -taktiken werden kontinuierlich weiterentwickelt auf Basis von Veränderungen in der operativen Umgebung und Lessons Learned.	(SGMM Team 2011, S. 39)	X	-	-	-
7.4.2. Organisationsübergreifend: Sicherheits-, Resilienz- und Interoperabilitätsanforderungen erkennen Abhängigkeiten jenseits der Organisationsgrenzen.	(SGMM Team 2011, S. 10)	X	-	-	-
7.4.3. Austausch mit Partnern: Prozesse und IT-Lösungen des Sicherheitsmanagements und -Monitoring werden eingesetzt, um die Interaktionen/Datenaustausch mit einem erweiterten Portfolio an Partnern der Wertschöpfungskette zu beschützen.	(SGMM Team 2011, S. 49; Akdil et al. 2018, S. 72-73)	X	X	-	-
7.4.4. Kundendaten im Unternehmen: Das Unternehmen ist fähig Sicherheit und Privatsphäre für alle gespeicherten, übertragenen oder verarbeiteten Kundendaten sicherzustellen (z. B. durch 3rd-party-Zertifizierungen, Zertifikate von Programmiertrainings in Secure Coding, 3rd-party-Reviews von Sicherheit- and Privacy-Policies, Code Reviews).	(SGMM Team 2011, S. 45)	X	-	-	-
7.4.5. Kundenprodukte und Services (Standards): Die Kundenprodukte und Dienstleistungen besitzen eingebaute Sicherheits- und Privatsphäresteuerungsmöglichkeiten, die den Industrie- und Regierungsstandards entsprechen.	(SGMM Team 2011, S. 44)	X	-	-	-
7.4.6. Allgemeine Produkt-Sicherheits-Anforderungen: Überlegungen und Anforderungen bzgl. der (Informationen-)Sicherheit (inklusive Incident Response und Vulnerability Reporting Capabilities) werden von Anfang an in allen Vorhaben des digitalisierten Produkts berücksichtigt. Vorhaben stellen dabei nicht nur Deployments, sondern auch Pläne, Vorschläge, Ausbildung, Beschaffung, etc. dar.	(SGMM Team 2011, S. 26 und 37)	X	-	-	-
7.4.7. Zwei-Wege-Kommunikation (Home Area Networks): Das Unternehmen bietet sichere zwei-Wege-Kommunikation mit den Heimnetzen an.	(SGMM Team 2011, S. 50)	X	-	-	-

Legende: X enthalten; - nicht enthalten; E=Energy; M=Manufacturing; S=Smart City; T=Tourism

Tabelle 69: Gestaltungsziele des Gestaltungsbereichs Security and Privacy des DPMM

6.2.7.5 Zwischenevaluation des Teilergebnisartefaktes

Im Folgenden wird das Teilergebnisartefakt des vorangegangenen Abschnitts anhand des in Kapitel 6.1 dargereichten Vorgehens teilevaluiert. Dabei werden aufgrund des Umfangs und getrennten Inhalte die Gestaltungsbereiche einzeln betrachtet.

Für den Gestaltungsbereich **Data Acquisition and Integration** konnten sieben Gestaltungsziele identifiziert werden, die nur zwei der vier Anwendungsdomänen – *Smart City* (6) und *Tourism* (2) – entstammen, obwohl die Sammlung von Daten in vielen Ausprägungen digitalisierter Produkte ein Kernmerkmal darstellt.

Beide Domänen bieten dabei Gestaltungsempfehlungen zum (*Big-*)*Data-Management* (7.1.3, 7.1.4, 7.1.5) und zur *Datenintegration* (7.1.6, 7.1.7). Die *Smart-City*-Domäne ergänzt darüber hinaus Empfehlungen, die die *Datenerfassung* (7.1.1, 7.1.2) betreffen.

Der Abgleich mit den Herausforderungen digitalisierter Produkte aus Kapitel 3.4 ergibt die Relevanz folgender Herausforderungen für den Gestaltungsbereich:

- (H1) Qualität/Authentizität der Daten schwierig zu erreichen aufgrund multipler, verteilter Ressourcen mit ungenauen, sich überschneidenden, widersprüchlichen oder fehlenden Daten in unterschiedlichen Datenformaten
- (H2) Fehlende Mechanismen zur Unterstützung emergenten Wissens
- (H3) Erfassung des kognitiven (internen) Kontexts notwendig
- (H4) Konfliktmanagement bei multiplen Nutzern (Sensing/ Service Ressourcen/ User Preference Konflikte) bei der Erfassung der korrekten Kontextdaten
- (H5) Big Data Management: Indizierung, Zusammenführung, Filterung, Zugriff, Speicherung und Archivierung (Auswahl, Policies, Modelle, Ort) großer heterogener Datenmengen notwendig aufgrund einer Vielzahl an Geräten und notwendiger historischer Daten für proaktive Services, Performanz-Metriken und Handlungsanweisungen

Die Herausforderung (H1) und (H4) überschneiden sich inhaltlich und finden beide keine direkte Entsprechung in den Gestaltungszielen. Die Herausforderungen werden höchsten tangiert durch verschiedene Gestaltungsziele dieses Gestaltungsbereichs und durch Gestaltungsziele anderer Gestaltungsdimensionen. Im Folgenden sind Beispiele für derartige Gestaltungsziele:

- *Big-Data-Integrationsanforderungen* und Werkzeuge (7.1.7),
- ein *geführter Prozess für die Erfassung von Echtzeitdaten* (7.1.2),
- Fokus auf *Interoperabilität* (5.1.8-5.1.10, 7.3.11),
- die Gestaltung einer *skalierbaren Architektur* (5.1.11),
- die (Weiter-)Entwicklung von *Skills der Mitarbeiter* bzgl. *IT im Allgemeinen* (3.4.2, 3.4.7) und auf *Daten* im Speziellen (3.4.3, 3.4.10) und
- die Integration von *Daten* (7.1.6, 7.1.7).

Dadurch wird vor allem die Herausforderung der Datenqualität adressiert, die Herausforderung des Konfliktmanagement weniger. Es empfiehlt sich somit die Einführung eines ergänzenden Gestaltungsziels, um eine frühzeitige Sensibilisierung für die Problematik zu ermöglichen:

7.1.8 **Multiple Nutzer:** Konfliktmanagementlösungen bei multiplen Nutzern zur Erfassung der korrekten Kontextdaten sind umgesetzt.

Die Herausforderungen (H2) und (H3) stellen wiederum innovative Ansätze dar (siehe Kapitel 3.4) und sind bisher nicht durch die Gestaltungsziele bzw. durch die Reifegradmodelle abgedeckt. Es empfiehlt sich daher ein neues Gestaltungsziel:

7.1.9 **Innovative Ansätze** für die Datensammlung sind umgesetzt (z. B. Erfassung von emergenten Wissen oder des kognitiven Kontext des Nutzers)

Die Herausforderung des Big Data Management (H5) wird durch die Gestaltungsziele des *Mega-Data-Pattern-Processing* (7.1.3) und der *Big-Data-Integrationsanforderungen und Werkzeuge* (7.1.7) adressiert, sodass hier keine weiteren Gestaltungsziele notwendig sind.

Für den Gestaltungsbereich **Data Analysis and Application** konnten siebzehn Gestaltungsziele identifiziert werden, die drei der vier Anwendungsdomänen – *Energy* (8), *Manufacturing* (4) und *Smart City* (6) – entstammen. Die Anwendungsdomäne *Tourism* bietet keine Gestaltungsziele für diesen Gestaltungsbereich an.

Inhaltlich bieten die Gestaltungsziele Vorgaben vor allem in den Bereichen der *Echtzeitdatennutzung* (7.2.1, 7.2.2), Nutzung von *Daten zur System-, Service-, Prozess-, Performanz- und Produktverbesserung* (7.2.3- 7.2.10), *Predictive Analytics* (7.2.11, 7.2.12) und der *Entscheidungsfindung* (7.2.13, 7.2.14). Dabei existieren wenige direkte inhaltliche Überschneidungen zwischen den Anwendungsdomänen. Vielmehr legen diese einen unterschiedlichen Fokus.

Der Abgleich mit den Herausforderungen digitalisierter Produkte aus Kapitel 3.4 ergibt die Relevanz der folgende Herausforderung für den Gestaltungsbereich:

- (H1) Hohe und schnelle Verarbeitung und Verfügbarkeit der (Kontext-)Informationen (Echtzeit).

Die Herausforderung bzw. Anforderung an eine Echtzeit-Datenverarbeitung (H1) wird in den Gestaltungszielen des Gestaltungsbereichs bereits adressiert: So werden *Echtzeitdaten als Grundlage für alle Analysebereiche* gefordert (7.2.1). Darüber hinaus wird im Gestaltungsbereich *Communications and Networks* der Dimension *Technology Support and Communication* (Kapitel 6.2.5) der Einsatz eines *Hochgeschwindigkeitsnetzwerks* (5.3.1) und *Breitbandinfrastruktur* (5.3.6)

gefordert. Eine Ergänzung um ein weiteres Gestaltungsziel wird somit als nicht sinnvoll erachtet wird.

Ergänzend sei darauf hingewiesen, dass der Bereich der Datenanalyse und Nutzung der Daten kein überschneidungsfreien Bereich darstellt und thematische Überschneidungen mit anderen Gestaltungsbereichen existieren. So wurden einige für den Bereich relevante Herausforderungen, die identifiziert werden konnten, bereits in anderen Gestaltungsbereichen adressiert und gelöst wie z. B. notwendige Fähigkeiten für den Umgang mit anspruchsvollen Algorithmen (siehe Kapitel 6.2.3). Diese wurden aufgrund ihrer vollständigen Abdeckung hier nicht erneut aufgegriffen.

Für den Gestaltungsbereich **Data Sharing** konnten vierzehn Gestaltungsziele identifiziert werden, die allen vier Anwendungsdomänen entstammen. Die meisten Gestaltungsziele bietet die Anwendungsdomäne *Smart City* (12), gefolgt von *Energy* (4), *Tourism* (2) und zuletzt *Manufacturing* (1). Das Teilen von Daten ist demzufolge ein wichtiges Merkmal für die verschiedenen Anwendungsdomänen.

Eine hohe Überschneidung entfällt dabei auf das Gestaltungsziel der *unternehmensinternen End-to-End Observability* (7.3.2) und dem umfangreichen *Teilen von Daten zwischen allen Stakeholdern* (7.3.7), die jeweils in drei der vier Anwendungsdomänen angeführt werden.

Auf inhaltlicher Ebene bieten die Ziele beispielsweise Vorgaben, mit *wem* Daten geteilt werden sollen und damit verbundene *vertragliche Aspekte* (7.3.2-7.3.7), ebenso zu verschiedenen *Open-Data-Aspekten* (7.3.8-7.3.10) und geforderter *Interoperabilität bei Beschaffungen* (7.3.11).

Für den Gestaltungsbereich konnten keine in Zusammenhang stehenden Herausforderungen digitalisierter Produkte (Kapitel 3.4) identifiziert werden, die nicht bereits in anderen Bereich abgedeckt wurden. So würde hierunter z. B. die Klärung von Eigentümerschaft, Urheberrecht, etc. fallen, die bereits im Gestaltungsbereich *Governance Model* der Dimension *Organization and Governance* (Kapitel 6.2.2) abgedeckt wurden.

Für den Gestaltungsbereich **Security and Privacy** konnten sieben Gestaltungsziele identifiziert werden, die nur zwei der vier Anwendungsdomänen – *Energy* (7) und *Manufacturing* (1) – entstammen. Eine Überschneidung der beiden Domänen findet dabei im Gestaltungsziel 7.4.3 (*Schutz der Daten im Wertschöpfungsnetzwerk*) statt.

Die Domänen *Smart City* und *Tourism* bieten demnach keine Ziele für den Gestaltungsbereich, obwohl insbesondere die Smart-City-Reifegradmodelle Gestaltungsziele für u. a. das Data Sharing anbieten. Außerdem werden in vielen Fällen bei Smart Cities personenbezogene Daten verarbeitet. Daher kann davon ausgegangen werden, dass Gestaltungsziele in Bezug auf Security and Privacy auch eine Relevanz für diese Domänen besitzen.

Auf inhaltlicher Ebene thematisieren die Gestaltungsziele Aspekte einer *Sicherheitsstrategie* (7.4.1) und den *organisationsübergreifenden Schutz* von personenbezogenen Daten im Allgemeinen (7.4.2), beim *Austausch mit Partnern* (7.4.3), bei der *Verarbeitung von Kundendaten im Unternehmen* (7.4.4), bei der *durch das Produkt gesammelten und verarbeiteten Daten* (7.4.5, 7.4.6) und bei der *Kommunikation* (7.4.7).

Der Abgleich mit den Herausforderungen digitalisierter Produkte aus Kapitel 3.4 ergibt die Relevanz folgender Herausforderungen für den Gestaltungsbereich:

- (H1) Steigende Komplexität der Sicherheits- und Privatsphäre-Maßnahmen mit steigender Anzahl digitalisierter Produkte (Ökosystemwachstum)
- (H2) Eingeschränkte Maßnahmen aufgrund von Hardware-Restriktionen
- (H3) Sicherheit- und Privatsphäre-Maßnahmen auch für Nicht-Nutzer, deren Daten miterfasst werden
- (H4) Berücksichtigung der unterschiedlichen Sensibilität der Daten
- (H5) Klärung von Fragen bzgl. des digitalen Vergessen oder der Nutzung von historischen Daten für das Service-Angebot
- (H6) Berücksichtigung ethischer Fragestellungen
- (H7) Notwendige personelle Ressourcen für die Sicherstellung der Maßnahmen
- (H8) sowie Klärung von Verantwortlichkeiten
- (H9) Klärung von vorbeugenden oder reagierenden Maßnahmen
- (H10) Eigentümerschaft und Urheberrecht

Der steigenden Komplexität durch das Ökosystemwachstum (H1) wird durch das Gestaltungsziel der sich *kontinuierlich weiterentwickelnden Sicherheitsstrategie und -taktiken* (7.4.1) begegnet. Daher wird ein neues Gestaltungsziel nicht als notwendig erachtet.

Die etwaig eingeschränkten Hardware-Ressourcen (H2) wurden bereits bei der *Produkt-IT-Architektur* (Kapitel 6.2.6) behandelt und ein neues Gestaltungsziel hierfür formuliert.

Die Berücksichtigung von Anforderungen an die Sicherheit und Privatsphäre von Personen, die selbst keine Nutzer des digitalisierten Produkts sind, aber die durch das digitalisierte Produkt miterfasst werden (H3), wird bisher nicht in den Gestaltungszielen berücksichtigt. Daher empfiehlt sich aufgrund der Bedeutung von Sicherheit und Privatsphäre ein neues Gestaltungsziel:

7.4.8 **Unbeteiligte Personen:** Sicherheits- und Privatsphärekonzepte berücksichtigen auch den Schutz unbeteiligter Personen, deren Daten, z. B. durch die physische Nähe zu Sensoren oder Kameras, erfasst werden.

Die Berücksichtigung der unterschiedlichen Sensibilität der Daten (H4) findet keine Entsprechung in den Gestaltungszielen. Es empfiehlt sich daher ebenfalls aufgrund der Bedeutsamkeit der Thematik ein ergänzendes Gestaltungsziel:

7.4.9 **Datensensibilität:** Die Sicherheits- und Privatsphärekonzepte berücksichtigen die unterschiedliche Sensibilität der Daten.

Die Klärung der Fragestellung hinsichtlich des digitalen Vergessens oder Speicherung und Nutzung historischer Daten (H5) wird ebenfalls nicht entsprechend begegnet. Ebenso wenig wie ethische Fragestellungen im Allgemeinen (H6), die das digitale Vergessen mittangieren. Demzufolge empfiehlt sich ein ergänzendes Gestaltungsziel

7.4.10 **Erweiterte Sicherheits- und Privatsphärefragestellungen,** wie z. B. digitales Vergessen oder ethische Fragestellungen, sind berücksichtigt und geklärt.

Klärung der notwendigen personellen Ressourcen für die Sicherstellung der Maßnahmen (H7) und entsprechende Verantwortlichkeiten (H8) sind ebenfalls nicht in den Gestaltungszielen berücksichtigt. In anderen Gestaltungsbereichen/-dimensionen lassen sich hierfür ergänzend allgemeine Gestaltungsziele wie die *Verfügbarkeit notwendiger Ressourcen* (1.3.10) identifizieren. Da der Bereich der Sicherheits- und Privatsphäremaßnahmen aufgrund seiner inhärenten Thematik als kritisch angesehen werden kann, empfiehlt sich zur gezielten und vollständigen Abdeckung der Herausforderungen ein gesondertes Gestaltungsziel:

7.4.11 **Ressourcen und Verantwortlichkeiten:** Notwendige personelle Ressourcen zur Sicherstellung der Maßnahmen stehen zur Verfügung und entsprechende Verantwortlichkeiten sind geklärt.

Die Klärung inwieweit vorbeugende oder reagierende Maßnahmen hierfür zum Einsatz kommen (H9) wird nicht durch die Gestaltungsziele adressiert. Jedoch ist berücksichtigt, dass sich die *Sicherheitsstrategie und -taktiken* anhand von Veränderungen und Lessons Learned anpassen (7.4.1). Dabei handelt es sich jedoch um eine nachträgliche Evaluation und die passende Strategie würde so erst im Nachhinein gefunden werden.

Da es sich hierbei um einen kritischen Bereich handelt, empfiehlt sich eine frühe Klärung und damit ein ergänzendes Gestaltungsziel:

7.4.12 **Vorbeugende oder reagierende Konzepte:** Es ist geklärt, inwieweit vorbeugende oder reagierende Sicherheits- und Privatsphärekonzepte zum Einsatz kommen.

Die Klärung von Eigentümerschaft und Urheberrecht (H10) wurde bereits im Gestaltungsbereich *Governance Model* der Dimension *Organization and Governance* (Kapitel 6.2.2) vollständig adressiert. Eine weitere Betrachtung ist hier daher nicht weiter notwendig.

6.2.8 Zusammenfassung und kritische Anmerkungen zur Ausgestaltung der Dimensionen des DPMM

Ziel des Kapitels war die Zusammenführung der domänenspezifischen Reifegradmodelle digitalisierter Produkte zu einem anwendungsdomänenübergreifenden Reifegradmodell, dem DPMM. Daran schloss sich eine Evaluation des DPMM anhand der Herausforderungen digitalisierter Produkte zur Identifizierung etwaiger Probleme und Lücken an.

Für die Gestaltungsdimension **Strategic and Financial Planning** konnten zahlreiche Gestaltungsziele identifiziert werden, die sich mit der (Weiter-)Entwicklung der Strategie, der Ausgestaltung von Investitions- und Finanzierungsmöglichkeiten und der Gestaltung (neuer) Geschäfts-, Kunden-Service- und Kunden-Beziehungs-Modelle befassen.

Eine hohe Domänenüberschneidung bei den einzelnen Gestaltungszielen ließ sich vor allem im Bereich *Strategy Development* feststellen. Für den Gestaltungsbereich *Funding and Investment* konnte dagegen eine hohe Anzahl an Gestaltungszielen identifiziert werden. Im Gestaltungsbereich *Business Models* fanden sich wiederum die ersten eher domänenspezifischen Gestaltungsziele wieder, deren tatsächliche Übertragbarkeit auf andere Anwendungsdomänen erst durch eine entsprechende ergänzenden Evaluation vollständig verifiziert werden kann.

Dabei konnte die Dimension weitgehend die sie betreffenden Herausforderungen abdecken, sodass nur geringfügige Ergänzungen notwendig waren.

Für die Gestaltungsdimension **Organization and Governance** konnten zahlreiche Gestaltungsziele identifiziert werden, die sich mit der Gestaltung einer innovativen und kollaborativen Unternehmenskultur und -struktur, der Entwicklung eines Multi-Partner-Governance-Modells und der Rolle des Unternehmens in der Gesellschaft befassen. Dabei decken die Gestaltungsziele die sie betreffenden Herausforderungen weitgehend ab, sodass lediglich geringfügige Ergänzungen notwendig waren.

Insgesamt gibt es in allen Gestaltungsbereichen der Dimension nur wenige domänenübergreifende deckungsgleiche Gestaltungsziele. Stattdessen legen die zugrunde liegenden Reifegradmodelle unterschiedliche Schwerpunkte und weisen einen unterschiedlichen Abstraktionsgrad bei den Gestaltungszielen auf.

Dies widerspricht allerdings einer Übertragung auf die anderen Domänen nicht: So fordern die Reifegradmodelle der *Smart-City*-Domäne die *Etablierung einer Innovationskultur* (2.1.3), die durchaus auch in den Bereichen *Energy*, *Manufacturing* oder *Tourism* Sinn macht. Im *Energy-Modell* zeigen sich auch bereits Ansätze in diese Richtung, indem hier die Führungsrolle des Unternehmens in der Gesellschaft in verschiedenen Entwicklungsbereichen gefordert wird. Eine derartige Führungsrolle ist unter Umständen mit einem hohen Innovationsgrad verbunden, für den wiederum eine Innovationskultur notwendig ist.

Für die Gestaltungsdimension **Stakeholder Management** konnten zahlreiche Gestaltungsziele identifiziert werden, die sich mit den Aufgaben und Verantwortlichkeiten der Führungskräfte, der unternehmensinternen und -externen Kollaboration, und der gezielten Kompetenzentwicklung aller Stakeholder durch geplante Aus- und Fortbildungsprogramme (sowie ggf. Alternativen zur Inklusion) befassen.

Viele der identifizierten Gestaltungsziele finden sich dabei in mehr als einer Domäne wieder, sodass hier eine hohe Deckungsgleichheit bei den Reifegradmodellen festgestellt werden kann.

Auffällig beim Gestaltungsbereich *Skill Development* ist wiederum, dass der Gestaltungsbereich sowohl eine hohe quantitative Anzahl an Gestaltungszielen als auch eine hohe quantitative Anzahl an Herausforderungen aufweist. Die Personalentwicklung hinsichtlich der Entwicklung von Fähigkeiten und Kompetenzen erhält somit eine besondere Betonung bei der Entwicklung von digitalisierten Produkten.

Insgesamt konnten aber die für die Gestaltungsdimension identifizierten Herausforderungen abgedeckt werden, sodass auch in dieser Dimension nur die Ergänzung um ein weiteres Gestaltungsziel notwendig war.

Für die Gestaltungsdimension **Organizational Processes** konnten zahlreiche Gestaltungsziele identifiziert werden, die sich mit der allgemeinen Gestaltung und Evaluation der (Unternehmens-)Prozesse, der Verbesserung spezifischer operativer Prozesse (z. B. Integration oder Echtzeitdaten-Nutzung) und insbesondere der Verbesserung des Entwicklungsprozesses digitalisierter Produkte (z. B. Co-Development-Praktiken oder verschiedene Testmöglichkeiten) befassen. Der Dimension wurde ebenfalls der Gestaltungsbereich der Unternehmens-Assets

zugewiesen, der sich mit dem Einsatz, der Optimierung und der Überwachung der Unternehmens-Assets befasst.

Die Anwendungsdomänen-Modelle setzten in den Gestaltungsbereichen allerdings unterschiedliche Schwerpunkte, sodass sich nur eine geringe Deckungsgleichheit bei den Gestaltungszielen ergab. Die Gestaltungsziele des *Asset Managements* entstammen darüber hinaus fast ausschließlich der *Energy*-Domäne um damit dem umfangreichsten Modell in der Analyse. Die Smart-City- und Tourism-Domänenmodelle wiederum sind weniger Unternehmensorientiert, weswegen sie unter Umständen einen geringen Fokus auf die (Unternehmens-)Prozesse legen.

Für die Dimension konnten im Vergleich nur wenige Herausforderungen identifiziert werden, die die einzelnen Gestaltungsbereiche tangieren. Dies bedeutet im Umkehrschluss jedoch nicht, dass der Bereich kein Verbesserungspotential besitzt, was die vielen Gestaltungsziele der Reifegradmodelle im Gegensatz sogar eher zeigen. Dementsprechend bietet sich hier Potential für weitere Forschung.

Für die Gestaltungsdimension **Technology Support and Communication** konnten zahlreiche Gestaltungsziele identifiziert werden, die sich mit der funktionalen und technologischen Ausgestaltung der Unternehmensarchitektur, der Integration und Automatisierung der Bereichssysteme (wie z. B. das Kampagnensystem) und der Gestaltung des Netzwerks und dem Informationsaustausch befassen.

Dabei kann die Gestaltungsdimension die sie betreffenden Herausforderungen weitgehend abdecken, sodass auch hier lediglich die Ergänzung um vereinzelte Gestaltungsziele und die inhaltliche Ergänzung eines Gestaltungsziels notwendig waren.

Über die Anwendungsdomänen hinweg gab es wenige direkte inhaltliche Überschneidungen, sodass Gestaltungsziele meist nur in einer Domäne identifiziert werden konnten. Die Reifegradmodelle der Anwendungsdomänen scheinen hier jeweils einen unterschiedlichen Fokus betreffend der Ausgestaltung der Gestaltungsziele zu legen.

Obwohl der Gestaltungsbereich *IT Architecture* bereits aufgeteilt wurde in die *Unternehmens-IT-Architektur* und die *Produkt-IT-Architektur* (Kapitel 6.2.6), weist der Bereich eine sehr hohe quantitative Anzahl an Gestaltungszielen auf. Dies betont die Komplexität der Ausgestaltung der IT-Architektur als Ganzes in Bezug auf die Entwicklung digitalisierter Produkte und sollte entsprechende Berücksichtigung und Priorisierung finden. Gleichzeitig könnte dies auch ein Indiz für das gesteigerte (Forschungs-)Interesse bzw. die Technologieorientierung der Forschung in diesem

Bereich sein, sodass für die Ausgestaltung mehr Informationen für die Reifegradmodelle der Anwendungsdomänen vorlagen.

Für die Gestaltungsbereiche der Gestaltungsdimension **Product Design** konnten zahlreiche Gestaltungsziele aus den Reifegradmodellen abgeleitet werden, die sich mit der funktionalen und technologischen Ausgestaltung der digitalisierten Produkte, insbesondere ihrem intelligenten Verhalten, und der Ökosystemgestaltung befassen.

Anders als in den anderen Gestaltungsdimensionen konnten die identifizierten Gestaltungsziele jedoch viele der sie betreffenden Herausforderungen nicht adressieren. Daher waren inhaltliche Modellergänzungen durch mehrere neue Gestaltungsziele notwendig. Die hohe Anzahl notwendiger neuer Gestaltungsziele zeigt, dass die Dimension, und insbesondere der Gestaltungsbereich *Service Design*, ein großes Verbesserungspotential und damit Forschungsbedarf aufweist.

Über die Anwendungsdomänen hinweg gab es darüber hinaus wenige direkte inhaltliche Überschneidungen. Die Reifegradmodelle der Anwendungsdomänen legen hier jeweils einen unterschiedlichen Fokus betreffend der Ausgestaltung der Gestaltungsziele.

Das Reifegradmodell der Anwendungsdomäne *Tourism* weist wiederum für keinen der Gestaltungsbereiche Gestaltungsziele auf, während die Reifegradmodelle der Anwendungsdomäne *Smart City* einzig im Gestaltungsbereich *Service Design* Gestaltungsziele vorweisen. Dies mag daran liegen, dass in beiden Anwendungsdomänen der Produktbegriff sich von dem klassischen Produktbegriff unterscheidet und insbesondere die Smart-City-Domäne einen anderen Abstraktionsgrad aufweist als die anderen Domänen (siehe Kapitel 2.3). Dies bedeutet jedoch nicht, dass sich Gestaltungsziele wie z. B. die *Etablierung eines Sensorplans* (6.1.2), die *Modellierung der Ausfallsicherheit* (6.1.8) oder die *Nutzung des Predictive Modelling von Kundenbedürfnissen* (6.3.6) nicht auf diese Dimensionen übertragen lassen.

Der Gestaltungsbereich *Data and AI* wiederum wird hauptsächlich durch Gestaltungsziele, die der *Energy*-Domäne entstammen, konstituiert. Da er Deckungsgleich bzgl. der Herausforderungen mit dem Gestaltungsbereich *Security and Privacy* der Dimension *Organizational Data and Analytics* ist, wurden entsprechende Herausforderungen im Rahmen dieser Dimension übergreifend besprochen.

Für die Gestaltungsbereiche der Gestaltungsdimension **Organizational Data and Analytics** konnten, mit Ausnahme für den Bereich *Data Sharing*, zahlreiche Gestaltungsziele aus den Reifegradmodellen abgeleitet werden. Diese adressieren die Erfassung, das Management, die Integration, die (funktionale) Nutzung und das unternehmensinterne und -externe Teilen sowie den Schutz der Daten.

Für einen Großteil der für die Dimension relevanten Herausforderungen konnten dennoch keine entsprechenden Gestaltungsziele identifiziert werden, die die Herausforderungen adressieren. Die hohe Anzahl notwendiger neuer Gestaltungsziele zeigt, dass diese Dimension, insbesondere der Gestaltungsbereich *Security and Privacy*, ein großes Verbesserungspotential aufweisen und in den bisherigen Reifegradmodellen zu wenig Beachtung gefunden haben.

Allerdings sind gerade die Fragestellungen und Herausforderungen in Bezug auf Sicherheit und Privatsphäre eng verflochten mit Fragestellungen nach der Möglichkeit der menschlichen Kontrolle im Gegensatz zum automatisierten Verhalten der Produkte und deren intelligenten Eigenschaften (Streitz 2019, S. 793–803). Dementsprechend weist dieser Gestaltungsbereich zahlreiche Abhängigkeiten zu den anderen Dimensionen auf, die das DPMM bisher noch nicht Ausdruck verleihen kann.

Überdies gab es über die Anwendungsdomänen hinweg wenige direkte inhaltliche Überschneidungen, sodass einzelne Gestaltungsziele meist nur einer einzelnen Anwendungsdomäne entstammen. Ausnahmen hiervon stellen die beiden Gestaltungsziele 7.3.2. (*Informationen des digitalisierten Produktbetriebs werden über alle Funktionen und Geschäftsfelder hinweg verfügbar gemacht*) und 7.3.7. (*die Stakeholder teilen vertrauenswürdige Daten in großem Umfang miteinander*) dar, die in jeweils drei der vier Anwendungsdomänen zu finden sind. Die Notwendigkeit des Teilens großer Datenmengen über alle Stakeholdergruppen hinweg und die Verfügbarkeit dieser Daten über alle Unternehmensbereiche hinweg stellen dementsprechend zentrale Aspekte der digitalisierten Produkte dar.

Dies zeigt sich auch darin, dass die Gestaltungsziele des Gestaltungsbereichs *Data Sharing* aus allen vier Anwendungsdomänen entstammen. Die Gestaltungsziele des Gestaltungsbereichs *Data Acquisition and Integration* stammen dagegen nur aus den Domänen *Smart City* und *Tourism*. Die Gestaltungsziele des Gestaltungsbereichs *Security and Privacy* wiederum nur aus den Domänen *Energy* und *Manufacturing*. Hier zeigt sich also ein Ungleichgewicht in den Domänenmodellen und damit etwaige Lücken in den Modellen, insbesondere wenn man bedenkt, dass die Datensammlung und -integration eng mit der Thematik der Sicherheit und Privatsphäre verflochten ist.

Hinsichtlich der Ausgestaltung der Dimensionen seien ein paar **kritische Anmerkungen** zu machen in Bezug auf das Vorgehen und den Inhalt:

Die *Extraktion der Gestaltungsziele* aus den Reifegradmodellen erfolgte anhand der Ermittlung des optimalen Zustands des jeweiligen Gestaltungsziels (siehe Vorgehensbeschreibung in Kapitel 6.1). Dadurch konnte nur die jeweils optimale Ausprägung im jeweiligen Reifegradmodell ermittelt werden. Dies muss nicht die tatsächlich beste mögliche Ausprägung im Allgemeinen darstellen, da sich seit Entwicklung und Publikation der jeweiligen Modelle verschiedene technologische und gesellschaftliche Entwicklungen ergeben haben können, die eine Veränderung der Ausprägungen bedingen können, sodass hier sicher Potential für weitere Evaluationen und Verbesserungen besteht.

Darüber hinaus wurden einige Gestaltungsziele, insbesondere aus der Energy-Domäne, extrahiert, die eine Domänenabhängigkeit nahelegen:

- Sicheres Informationsnetzwerk für kundenseitige Energie-Management-Lösungen (5.3.4),
- Geräteverwaltung durch Energieversorger-Netzwerk (5.3.5),
- Zweiwege-Meter-Kommunikation (5.3.10),
- Programme zur Verringerung von Nachfragespitzen (6.1.7),
- In-home Net-Billing-Programme (6.2.13),
- Bürger-Accounts (6.2.14),
- Automatisierte Reaktion auf Preissignale (6.3.11) und
- Kunden-Support für den Vergleich von Preisprogrammen (6.3.12).

Hier empfehlen sich weitere Evaluationsschritte zur Klärung der eventuellen Domänenabhängigkeit bzw. Übertragbarkeit auf andere Domänen.

Die *Konsolidierung der Gestaltungsziele* war zudem nicht immer konfliktfrei. Die Grundlage für die Gestaltungsziele stellen die ausgewählten Reifegradmodelle dar. Diese stellen zwar in ihrem jeweiligen Anwendungsbereich das beste oder einzige in der durchgeführten Suche zu identifizierende Reifegradmodell dar, weisen aber im inhaltlichen Vergleich über die Anwendungsdomänen hinweg deutliche Unterschiede in den Bereichen Umfang, Tiefe und Abstraktion auf.

Dies erschwerte die Zusammenführung und hat letztlich dazu geführt, dass die resultierenden Gestaltungsziele teils ebenfalls auf unterschiedlichen Abstraktionsebenen ansetzen. Dies zeigt sich am deutlichsten in den Dimensionen, in denen am wenigsten Überschneidung zwischen den Modellen/Anwendungsdomänen existierte. Hier sollten zukünftige Verbesserungen des DPMM ansetzen und klären, inwieweit es tatsächlich ein Problem der Abstraktionsebene oder einer etwaigen

Domänenabhängigkeit ist. Je nach Resultat könnten dann ggf. die Ziele weiter angeglichen werden oder eine Kennzeichnung für die Domänenabhängigkeit vorgenommen werden.

Parallel sollte dabei geprüft werden, inwieweit sich die Terminologie besser angleichen lässt. Aufgrund der unterschiedlichen Anwendungsdomänen besitzen die Modelle eine unterschiedliche Terminologie wie z. B. Unternehmen, öffentliche Einrichtungen, Partner oder Lieferanten. Hier sollten die Begriffe für das bessere Verständnis bzw. die domänenübergreifende Nutzung vereinheitlicht werden.

Auch die *Bereichsmusteranalyse* war nicht konfliktfrei. So ließen sich einige Gestaltungsziele nicht immer eindeutig zuordnen, da sie inhaltlich in multiple Gestaltungsbereiche/Gestaltungsdimensionen verankert werden hätten können. Hier wurde zwar immer dem inhaltlichen Bereich Priorität gewährt, der im Fokus der Aussage des Gestaltungsziels stand, jedoch unterliegt dies gegebenenfalls dem subjektiven Verständnis des Zuweisenden. Daher waren die Muster für mögliche Gestaltungsbereiche als Bündelung der Gestaltungsziele nicht immer leicht zu erkennen. Gleichzeitig zeigt dies auch die bereits mehrfach betonte Abhängigkeit der Bereiche und Dimensionen zueinander auf, die zukünftig in den Reifegradmodellen digitalisierter Produkte adressiert werden sollte.

In Bezug auf die *Zwischenevaluation* durch den Abgleich mit den bereits identifizierten Herausforderungen hat sich darüber hinaus gezeigt, dass zahlreiche Herausforderungen digitalisierter Produkte noch nicht in den existierenden Modellen berücksichtigt waren und damit deutlich Verbesserungspotential existierte. Ferner ist die Liste der Herausforderungen selbst aufgrund der eingeschränkten Literaturauswahl nicht als vollständig zu erachten, sodass einige Herausforderungen der Praxis auch durch die ergänzten Gestaltungsziele möglicherweise noch nicht abgedeckt sind. Überdies ist zu berücksichtigen, dass die Herausforderungen ebenfalls heterogen hinsichtlich des Abstraktionsniveaus sind. Der Abgleich war dementsprechend nicht immer eindeutig, sodass die Argumentation in einigen Fällen etwas ausführlicher erfolgen musste, da verschiedene Aspekte Berücksichtigung finden mussten.

Insgesamt konnte jedoch ein breites Spektrum an Gestaltungszielen und Gestaltungsbereichen identifiziert werden, die als Ansatzpunkte für die Gestaltung der Entwicklung digitalisierter Produkte dienen. Insbesondere die quantitative Menge an Gestaltungszielen bedingt dabei jedoch auch eine gewisse Modellkomplexität, deren praktische Einsatzfähigkeit durch weitere Evaluationen ermittelt werden muss. DE BRUIN ET AL. (2005, o. S.) konstatieren hierzu, dass bei der Reifegradmodellentwicklung die richtige Balance zwischen komplexer Realität und

Modelleinfachheit gefunden werden muss. Ein zu vereinfachtes Modell kann unter Umständen die Komplexität der Domäne nicht adäquat reflektieren und daher den Nutzern nur ungenügend Informationen bereitstellen. Ein zu kompliziertes Modell wiederum verringert womöglich das Interesse am Modell oder verursacht Verwirrung, die sich wiederum in der falschen Anwendung äußern kann.

6.3 Vorschläge für die Zuordnung von Umsetzungsgraden für das DPMM

Für die Reifeinordnung eines Unternehmens im Rahmen eines Assessments werden die in Kapitel 5.2.4 definierten Umsetzungsgrade benötigt. Diese definieren Soll-Werte für die Gestaltungsbereiche je Reifegrad auf Basis der prozentualen Anzahl umgesetzter Gestaltungsziele und ermöglichen dadurch eine schritt- bzw. stufenweise Weiterentwicklung des Unternehmens. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurden hierfür vier Umsetzungsgrade abgeleitet: *Nicht umgesetzt*, *Basis*, *Fortgeschritten* und *Exzellente*. Eine Beschreibung der Umsetzungsgrade findet sich in Tabelle 44 des Kapitels 5.2.4.

Bei der in diesem Kapitel dargelegten Zuordnung der Umsetzungsgrade für die Reifegrade je Gestaltungsbereich handelt es sich um einen argumentativ-deduktiven Vorschlag und damit die erste Iteration der Modellkonzeption. Zur langfristig ergänzenden Verifikation des Vorschlages sollten die Abhängigkeiten der Gestaltungsziele und -bereiche näher untersucht werden und durch empirische Untersuchungen (z. B. Expertenbefragung) im Rahmen einer zweiten Iteration der Modellkonzeption und Evaluation gestützt werden (siehe hierzu auch die abgeleitete Vorgehensweise der Reifegradmodellentwicklung der vorliegenden Arbeit in Kapitel 4.5 und die Ausführungen betreffend der Modellevaluation im Rahmen des Kapitels 7).

Die argumentativ-deduktive Herleitung des Vorschlages der Zuordnung der Umsetzungsgrade für die Gestaltungsbereiche und Reifegrade in der vorliegenden Arbeit unterscheidet sich dabei von dem Vorgehen von ALTUNTAS UND UHL (2015, S. 177–181), deren grundsätzliches Konzept der Umsetzungsgrade die Grundlage für die Einführung von Umsetzungsgraden in der vorliegenden Arbeit bildeten (siehe Kapitel 5.2.4).

Die argumentativ-deduktive Zuordnung der Reifegrade nach ALTUNTAS UND UHL (2015, S. 177–181) findet lediglich auf dem Äquivalent der Gestaltungsbereichsebene statt. Dies bedeutet, es werden Umsetzungsgrade für die Gestaltungsbereiche anhand der grundsätzlichen Bereichsbeschreibung festgelegt. Die

Modellanwender können dann beliebige Gestaltungsziele aus einem Bereich umsetzen anhand denen quantitativ der IST-Umsetzungsgrad ermittelt und mit dem SOLL-Umsetzungsgrad abgeglichen wird. Dies erzeugt eine Flexibilität für die Modellanwender, abstrahiert aber von möglichen Abhängigkeiten der Gestaltungsziele untereinander bzw. einer sinnvollen Reihenfolge der Umsetzung.

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wird daher von diesem Vorgehen abgewichen und stattdessen auf *Gestaltungsziel*-Ebene statt auf *Gestaltungsbereichs*-Ebene ein argumentativ-deduktiver Vorschlag erarbeitet. Dieser ermittelt eine sinnvolle Reihenfolge der Gestaltungszielumsetzung und ermöglicht damit Hinweise für eine gezielteres Fortschreiten auf dem Reifepfad. Dies bedeutet im Rückschluss, dass die Umsetzungsgrade der vorliegenden Arbeit auch in inhaltlicher Abhängigkeit zu den umgesetzten Gestaltungsziele stehen und nicht nur die quantitative Umsetzung ausschlaggebend für die Einordnung auf einem Reifegrad ist.

Hierbei könnte kritisiert werden, dass die Umsetzungsgrade in diesem Fall überflüssig werden, da es genaue Vorgaben gibt, welche Gestaltungsziele auf welchem Reifegrad umgesetzt werden müssen. Da jedoch mehrere Reifegrade denselben Umsetzungsgrad aufweisen können, erleichtert dies die Einordnung wie auch einen zukünftigen Vergleich von Unternehmen.

Die argumentativ-deduktive Herleitung des Vorschlages basiert dabei auf den folgenden Vorgehen:

1. Die wesentlichen Merkmalen der Reifegrade werden inhaltlich mit den Gestaltungsziele abgeglichen, um eine Reifegradzuordnung zu erhalten.
2. Dabei werden bereits bekannte Abhängigkeiten der Gestaltungsziele/-bereiche/-dimensionen untereinander und zu den Reifegraden, wenn möglich, berücksichtigt.
3. Darüber hinaus wird bei der Herleitung auch ein Abgleich mit der Reifegradzuordnung der Gestaltungsziele in den ursprünglichen Reifegradmodellen durchgeführt. Hierdurch wird ein Vergleichswert erzeugt, der bei einer nicht eindeutigen Zuordnung unterstützen kann.

Tabelle 42 in Kapitel 5.2.2 bietet hierfür eine kompakte Zusammenfassung der zentralen Merkmale der Reifegrade des DPMM.

Die argumentativ-deduktive Zuordnung der Umsetzungsgrade wird allerdings aufgrund der begrenzten Möglichkeiten der vorliegenden Arbeit nur anhand von zwei Beispielen durchgeführt:

- Zum einen wird eine **horizontale Zuordnung** exemplarisch für den Gestaltungsbereich *Skill Development* der Dimension *Stakeholder Management* durchgeführt. Dies bedeutet, dass die Zuordnung aller Umsetzungsgrade für den gewählten Gestaltungsbereich für alle Reifegrade diskutiert wird (Kapitel 6.3.1).
- Zum anderen wird eine **vertikale Zuordnung** exemplarisch für den *ersten Reifegrad* (Smart Product) der Dimension *Organizational Data and Analytics* durchgeführt. Dies bedeutet, dass die Zuordnung aller Umsetzungsgrade für alle Gestaltungsbereiche der gewählten Dimension für den ausgewählten Reifegrad diskutiert wird (Kapitel 6.3.2).

Die beiden gewählten Beispiele illustrieren nicht nur die argumentativ-deduktive Zuordnung als solche, sondern zeigen auch verschiedene Herausforderungen und Wirkungsweisen der Zuordnung auf, die im Rahmen der anschließenden kritischen Reflexion der Zuordnung aufgegriffen und diskutiert werden.

Für die übrigen Gestaltungsbereiche und Reifegrade erfolgt nur eine tabellarische Übersicht mit Vorschlägen ohne ausführliche Erläuterungen zusammen mit der kritischen Reflexion der Zuordnung. Im Anhang B findet sich hierfür der detailliertere Vorschlag für die Zuordnung von Gestaltungszielen zu Reifegraden und die sich daraus ergebenden Umsetzungsgrade für alle Dimensionen. Dagegen bietet die Tabelle 70 in diesem Kapitel eine kompakte Übersicht dieser Zuordnung auf Gestaltungsbereichsebene.

Gestaltungsbereiche		R1	R2	R3	R4	R5
1. Strategic and Financial Planning						
1.1.	Strategy Development	B	B	B	F	E
1.2.	Funding and Investment	-	B	B	F	E
1.3.	Business Models	-	B	B	F	E
2. Organization and Governance						
2.1.	Organizational Structure and Culture	B	B	B	F	E
2.2.	Governance Model	B	F	F	F	E
2.3.	Organizational Role	-	-	-	B	E
3. Stakeholder Management						
3.1.	Leadership	-	B	B	F	E
3.2.	Intra- and Cross-company Collaboration	-	B	B	F	E
3.3.	Stakeholder Collaboration	-	B	B	F	E
3.4.	Skill Development	B	F	F	F	E
4. Organizational Processes						
4.1.	Processes in General	B	B	B	F	E
4.2.	Procurement, Sales, Services and Operation	B	B	F	E	E
4.3.	Development and Manufacturing	B	B	B	F	E
4.4.	Asset Management	-	-	-	F	E
5. Technology Support and Communication						
5.1.	IT Architecture	B	B	F	F	E
5.2.	Department Systems	-	B	B	E	E
5.3.	Communications and Networks	-	B	B	F	E
6. Product Design						
6.1.	Product IT Architecture	B	B	F	F	E
6.2.	Service Design	-	B	B	F	E
6.3.	Data and AI	-	B	B	F	E
7. Organizational Data & Analytics						
7.1.	Data Acquisition and Integration	B	B	F	E	E
7.2.	Data Analysis and Application	-	B	F	E	E
7.3.	Data Sharing	-	B	B	F	E
7.4.	Security and Privacy	B	F	F	E	E
Legende						
Reifegrade: R1 = Smart Product; R2 = Smart, connected Product; R3 = Aware smart, connected Product; R4 = Product Systems; R5 = System-of-Systems;						
Umsetzungsgrade: - = nicht umgesetzt; B = Basis; F = Fortgeschritten; E = Exzellent						

Tabelle 70: Vorschlag für Umsetzungsgrade für die Gestaltungsbereiche je Reifegrad

6.3.1 Beispiel für die Zuordnung der Umsetzungsgrade für den Gestaltungsbereich Skill Development

Der Gestaltungsbereich *Skill Development* umfasst alle Gestaltungsziele, die sich mit dem Erlernen notwendiger Fähigkeiten der verschiedenen Stakeholdergruppen digitalisierter Produkte befassen. Tabelle 71 gibt eine Übersicht über die in den vorangegangenen Kapiteln identifizierten Gestaltungsziele des Gestaltungsbereichs sowie die sich aus der nachfolgenden Diskussion ergebende Zuordnung der Gestaltungsziele zu den Reifegraden bzw. die sich daraus mathematisch ergebenden Umsetzungsgrade.

3. Stakeholder Management					
3.4. Skill Development	R1	R2	R3	R4	R5
3.4.1. Management-Skills: Entwicklung von notwendigen Management-Kompetenzen und -methoden insb. zur Umsetzung der Vision.	X				
3.4.2. Mitarbeiter IT-Skills: In allen Unternehmensbereichen sind digitale und analytische (IT-)Skills der Mitarbeiter auf neuestem Stand und entsprechenden digitalisierten Produkt-Projekten zugeordnet.		X			
3.4.3. Open-Data-Skills: Unterweisung, wie die im offenen Zugriff stehenden Daten, z. B. durch Web Application Programming Interfaces (API), genutzt werden können, um Services zu entwickeln.					X
3.4.4. Mitarbeiter-Autonomie: Förderung der Autonomie der Mitarbeiter.		X			
3.4.5. Kunden-Medienkompetenzen: Entwicklung digitaler (Medien-) Kompetenzen von Kunden.		X			
3.4.6. Digitale Inklusion: Unterstützung oder alternative Vorkehrungen werden bereitgestellt, um Kunden aufgrund fehlender digitaler Kompetenzen nicht auszuschließen.		X			
3.4.7. Aus-/Fortbildungsprogramme: Koordination von Aus- und Fortbildungsprogrammen, um die Capabilities digitalisierter Produkte auszuschöpfen.		X			
3.4.8. Projekt- und Investitionsskills: Skills, die benötigt werden, um Projekte oder Investitionen abzuwickeln wurden abgebildet und Pläne zum Aufbau von Kapazitäten sind vorhanden.	X				
3.4.9. Delivery Skills: Skills und Expertise zur Unterstützung der Abwicklung des digitalisierten Produkts sind auf allen Ebenen vorhanden.		X			
3.4.10. Data Skills: Ressourcen mit spezifischen Daten-Skills werden aktiv entwickelt oder rekrutiert.	X				
Umsetzungsgrade	B	F	F	F	E
Legende: X = Gestaltungsziel muss in diesem und allen folgenden Reifegraden umgesetzt sein Reifegrade: R1 = Smart Product; R2 = Smart, connected Product; R3 = Aware smart, connected Product; R4 = Product Systems; R5 = System-of-Systems; Umsetzungsgrade: - = nicht umgesetzt; B = Basis; F = Fortgeschritten; E = Exzellent					

Tabelle 71: Beispiel für die Ausgestaltung der Umsetzungsgrade für den Gestaltungsbereich Skill Development des DPMM (Übersicht)

Dem **Reifegrad R1** (*Smart Product*) wurden die folgenden Gestaltungsziele zugewiesen:

- 3.4.1 (*Management-Skills für Visionsumsetzung*),
- 3.4.8 (*Projekt- und Investitionsskills für Visionsumsetzung*) und
- 3.4.10 (*Data Skills*).

Hierbei handelt es sich um grundlegende Fähigkeiten, die bereits beim Einstieg in den Bereich digitalisierter Produkte vorhanden sein müssen, um die Vision umsetzen zu können und frühzeitig notwendige Kapazitäten zu identifizieren.

Produkte auf diesem Reifegrad weisen erste rudimentäre analytische Optionen auf, da der Fokus auf der digitalen und datengetriebenen Serviceverbesserung liegt. Dennoch sind auch hier schon frühzeitig entsprechende Fähigkeiten in den Bereichen Projektmanagement, Investitionsmanagement und Datenmanagement notwendig, um das Potential des Reifegrades ausschöpfen zu können und die Grundlage für die nächsten Reifegrade zu bilden.

Dem **Reifegrad R2** (*Smart, connected Product*) wurden – ergänzend zu den Gestaltungszielen des 1. Reifegrad – die folgenden Gestaltungsziele zugeordnet:

- 3.4.2 (*IT-Skills der Mitarbeiter*),
- 3.4.4 (*Autonomie der Mitarbeiter*),
- 3.4.5 (*Digitale Medienkompetenzen der Kunden*),
- 3.4.6 (*Digitale Inklusion von Kunden*),
- 3.4.7 (*Koordination von Aus- und Fortbildungsprogrammen*) und
- 3.4.9 (*Delivery Skills*).

Der Reifegrad zeichnet sich durch ein gesteigertes Service-Angebot des digitalisierten Produktes aus, das sich aus der Vernetzung des Produktes, seinen erweiterten Fähigkeiten, z. B. im Bereich Sensing, und ersten Kollaborationen mit Partnern ergibt. Dabei steht ein ganzheitliches Systemdenken im Vordergrund.

Damit das Service-Angebot möglich wird, müssen die (analytischen) IT-Skills der Mitarbeiter entsprechend auf dem aktuellen Stand sein und ihnen notwendige Autonomie ermöglicht werden, um entsprechend agieren zu können. Auch erfordert die gesteigerte Digitalisierung des Produktes, dass die Kunden entsprechend hierfür notwendige Medienkompetenzen besitzen bzw. ggf. erlernen können. Sollte ein Erlernen dieser Kompetenzen nicht möglich sein, muss ein Ausschluss dieser Kunden im Rahmen der digitalen Inklusion durch entsprechende Vorkehrungen verhindert werden. Dementsprechend sollten die benötigten Aus- und Fortbildungsprogramme koordiniert werden.

Auch im Rahmen des Smart-City-Reifegradmodells von THE SCOTTISH GOVERNMENT ET AL. (2014, S. 12) wurden gerade die Kunden-Kompetenzen und Digital Exclusion schon früh im Modell (Reifeebene 2) adressiert.

Das Smart-Grid-Reifegradmodell des SEI wiederum verordnet die Skills der dritten Reifeebene, da hier die Kundeninteraktion als Grundlage der Kundenzufriedenheit durch entsprechend neue interaktive Produkte und Service-Angebote fokussiert wird (SGMM Team 2011, S. 43–44). Dies entspricht damit eher dem 2. Reifegrad des DPMM.

Das Gestaltungsziel 3.4.9 (*Skills und Expertise zur Unterstützung der Abwicklung des digitalisierten Produkts sind auf allen Ebenen vorhanden*) könnte dabei schon auf dem ersten Reifegrad verordnet werden. Da jedoch hier die Betonung auf *allen Ebenen* liegt, wurde dieses Gestaltungsziel dem zweiten Reifegrad zugeordnet. Der erste Reifegrad stellt die Grundlage für den Business Case dar, während das ganzheitliche Systemdenken erst auf dem zweiten Reifegrad betont wird. Das Vorhandensein dieser Skills auf allen Ebenen ist daher noch nicht auf dem ersten Reifegrad notwendig.

Dem **Reifegrad R3** (*Aware smart, connected Product*) konnten keine spezifischen Gestaltungsziele zugeordnet werden. Der Reifegrad zeichnet sich durch gesteigerte Awareness des digitalisierten Produkts und damit ein geführtes Prediction- und Prevention-System bzw. dynamische Sense- und Response-System aus, das Echtzeit-Reaktionen ermöglicht. Von den identifizierten und noch nicht zugeordneten Gestaltungszielen zielt inhaltlich keines auf diese Eigenschaften des Reifegrads ab. Es gelten somit für den Reifegrad die gleichen Anforderungen bzw. Gestaltungsziele wie für den ersten und zweiten Reifegrad.

Dem **Reifegrad R4** (*Product Systems*) konnten ebenfalls keine spezifischen Gestaltungsziele zugeordnet werden. Der Reifegrad zeichnet sich durch eine Plattform-basierte, integrierte, intelligente und vernetzte Produktlösungen aus. Im Vordergrund stehen Unternehmenskooperationen, soziale Objektnetzwerke und der KI-Einsatz. Von den identifizierten und noch nicht zugeordneten Gestaltungszielen zielt inhaltlich keines auf diese Eigenschaften des Reifegrads ab. Es gelten lediglich die gleichen Anforderungen bzw. Gestaltungsziele wie für vorangegangenen Reifegrade.

Dem **Reifegrad R5** (*System-of-Systems*) wurde das folgende Gestaltungsziel zugeordnet:

- 3.4.3 (*Open-Data-Skills*)

Der Reifegrad zeichnet sich durch die Etablierung eines Ökosystems mit der Erweiterung auf alle Anwendungsdomänenbereiche durch unabhängige, aber verbundene Komponentensysteme und Kollaborations-Anreize aus.

Open Data wiederum versteht sich als „Datenbestände, die für jedermann frei verfügbar sind und keinerlei Einschränkungen bezüglich ihrer Verwendung, Weiterverbreitung und Modifikation unterliegen“ (Dinter 2019, o. S.). Auch wenn Open-Data-Ansätze grundsätzlich schon bei einem geringeren Reifegrad möglich sind, sind frei zugänglich gemachte Daten im Rahmen des System-of-Systems teilweise notwendig, damit die unabhängigen Komponentensysteme miteinander interagieren und entsprechend Services angeboten werden können.

Das Smart-City-Reifegradmodell von THE SCOTTISH GOVERNMENT ET AL. (2014, S. 12) verordnet Open Data grundsätzlich auf der höchsten Reifeebene, indem es die Smart City auf dieser Reifeebene als „Sustainable and Open ‚System-of-Systems‘“ versteht. Insbesondere bei Smart-City-Ansätzen spielt Open Data zur Schaffung von Transparenz der Regierungsarbeit (*Open Government*), für Innovation (z. B. durch Crowdsourcing von Ideen und Talenten) sowie zur Entwicklung kommerzieller Services durch Unternehmen eine wichtige Rolle (Clarke 2013, S. 17).

Erste Open-Data-Aspekte finden sich bei dem Modell des THE SCOTTISH GOVERNMENT ET AL. (2014, S. 12) allerdings auch schon ab der mittleren Reifeebene wieder, bei der die System-Integration im Vordergrund steht. Diese Reifeebene wurde im Rahmen der Identifizierung der Reifegrade für dieses Modell (siehe Kapitel 5.2.2) dem vierten Reifegrad (*Product Systems*) des DPMM zugeordnet. Jedoch ist für die Integration der Produktsysteme ein Open-Data-Ansatz im eigentlichen Sinn (also Datenbestände, die der Allgemeinheit der Gesellschaft zur Verfügung gestellt werden) nicht zwingend notwendig, sodass der Open-Data-Ansatz und damit verbundene Gestaltungsziele dem letzten Reifegrad dieser Arbeit zugeordnet wurde und damit auch in Verbindung stehende Gestaltungsziele.

Daraus ergeben sich mathematisch für den Gestaltungsbereich die folgenden **Umsetzungsgrade** (siehe auch Tabelle 71):

- Reifegrad 1 erhält den Umsetzungsgrad Basis (B), da < 50% der Gestaltungsziele umgesetzt werden müssen.
- Reifegrad 2-4 erhalten jeweils den Umsetzungsgrad Fortgeschritten (F), da $\geq 50\%$ der Gestaltungsziele umgesetzt werden müssen.
- Reifegrad 5 erhält den Umsetzungsgrad Exzellent (E), da 100% der Gestaltungsziele umgesetzt werden müssen.

6.3.2 Beispiel für die Zuordnung der Umsetzungsgrade für den Reifegrad Smart Product der Dimension Organizational Data & Analytics

Die Dimension *Organizational Data and Analytics* umfasst alle Gestaltungsbereiche und Gestaltungsziele, die sich mit der Akquise, Integration, Analyse, Teilen und Anwendung von Daten im Rahmen des Einsatzes digitalisierter Produkte aus Unternehmenssicht befassen. Sie besteht aus den vier Gestaltungsbereichen (1) *Data Acquisition and Integration*; (2) *Data Analysis and Application*; (3) *Data Sharing*; (4) *Security and Privacy*.

Das digitalisierte Produkt des ersten Reifegrads (Smart Product) wiederum ist charakterisiert durch rudimentäre analytische Optionen mittels dem Austausch von Informationen. Der Fokus liegt hierbei auf der digitalen Identifikation bzw. dem statischen, digitalen Objektabbild und den digitalen und datengetriebenen Verbesserungen des Services (siehe Tabelle 42 und Kapitel 5.2.2). Es dient durch ein in sich abgeschlossenes, abgegrenztes Objekt damit vor allem als Grundlage für den Business Case.

Die folgenden Tabellen (Tabelle 72 - Tabelle 75) zeigen die Zuordnung der Gestaltungsziele der jeweiligen Gestaltungsbereiche für den ersten Reifegrad und die sich daraus ergebenden Umsetzungsgrade. Sie begleiten die entsprechend zugehörige Diskussion der Zuordnung. Zur Übersichtlichkeit sind in den Tabellen auch die Vorschläge für die Zuordnung der Gestaltungsziele zu den übrigen Reifegraden (und damit sich daraus ergebenden Umsetzungsgraden) enthalten, die aber im Folgenden nicht Gegenstand der Diskussion sind.

Gestaltungsbereich: Data Acquisition and Integration

Aus dem Gestaltungsbereich *Data Acquisition and Integration* der Dimension konnten dem ersten Reifegrad die folgenden Gestaltungsziele zugeordnet werden:

- 7.1.5 (*Stammdatenmanagement einsatzbereit*) und
- 7.1.6 (*Integration von Ressourcen und Daten*).

Die Integration von Ressourcen und Daten ist dabei die Grundlage für das Gestaltungsziel 7.1.7 (*Big-Data Integrationsanforderungen*) und wird daher im ursprünglichen Tourism-Reifegradmodell von LIM ET AL. (2019, o. S.) auf der zweiten Reifeebene verordnet. Bezogen auf das DPMM sollten die Integration von Daten und Ressourcen allerdings geschehen, bevor auf dem nachfolgenden zweiten Reifegrad die Vernetzung und die Kollaboration/Data Sharing durchgeführt werden. Zu einer ähnlichen Einschätzung gelangt auch das Reifegradmodell des THE SCOTTISH GOVERNMENT ET AL. (2014, S. 12).

Das Stammdatenmanagement wurde ebenfalls dem ersten Reifegrad zugeordnet. „*Stammdaten sind statische Grunddaten eines Unternehmens zu Waren, Lieferanten, Kunden, Mitarbeitern usw. Sie sind für die automatische Erfassung und Verarbeitung unerlässlich, weswegen eine hohe Stammdatenqualität wichtig ist*“ (Winkelmann 2019, o. S.).

Die Aufgabe des Stammdatenmanagements ist daher „*die Sicherstellung der konsistenten, vollständigen, aktuellen, korrekten und qualitativ hochwertigen Stammdaten zur Unterstützung der Leistungsprozesse eines Unternehmens*“ (Beckmann 2019, o. S.). Das Stammdatenmanagement sollte somit umgesetzt sein, bevor auf dem zweiten Reifegrad (Smart, connected Product) das Teilen von Daten, z. B. aufgrund von Kollaborationen, stattfindet.

Die anderen Gestaltungsziele des Gestaltungsbereichs, die sich mit Echtzeitdaten, Big Data und Kontextdaten befassen, können dabei den höheren Reifegraden zugeordnet werden. Sie sind dementsprechend für digitalisierte Produkte des ersten Reifegrads noch nicht notwendig. Lediglich das Gestaltungsziel 7.1.9 (*Innovative Ansätze für das Sammeln von Daten*) konnte keinem Reifegrad eindeutig zugeordnet werden und wird zunächst als optional gekennzeichnet.

Für den 1. Reifegrad des Gestaltungsbereichs bedeutet dies den zugeordneten Umsetzungsgrad *Basic* (siehe Tabelle 72).

7.1. Data Acquisition and Integration	R1	R2	R3	R4	R5	
7.1.1. System-weite Datenerfassung		X				
7.1.2. Prozess für Echtzeitdatenerfassung			X			
7.1.3. Mega-Data-Pattern-Processing von Ressourcen und Daten				X		
7.1.4. Datenprozess-Management		X				
7.1.5. Stammdatenmanagement	X					
7.1.6. Integration von Ressourcen und Daten	X					
7.1.7. Big-Data-Integrationsanforderungen und Werkzeuge				X		
7.1.8. Konfliktmanagement bei multiplen Nutzern			X			
7.1.9. Innovative Ansätze für die Datensammlung	*	*	*	*	*	
	Umsetzungsgrade	B	B	F	E	E
Legende						
Reifegrade: R1 = Smart Product; R2 = Smart, connected Product; R3 = Aware smart, connected Product; R4 = Product Systems; R5 = System-of-Systems;						
Umsetzungsgrade: - = nicht umgesetzt; B = Basis; F = Fortgeschritten; E = Exzellent						
* Optional: Eindeutige Zuordnung derzeit nicht möglich						

Tabelle 72: Vorschlag für die Zuordnung der Umsetzungsgrade für den Gestaltungsbereich Data Acquisition and Integration des DPMM

Gestaltungsbereich: Data Analysis and Application

Für den zweiten Gestaltungsbereich, Data Analysis and Application, der Dimension konnten dem ersten Reifegrad keine Gestaltungsziele zugeordnet werden.

Die Gestaltungsziele des Gestaltungsbereichs thematisieren den Einsatz von (Echtzeit-)Daten in verschiedenen Unternehmensbereichen (z. B. zur Prozessverbesserung, Erfolgsmessung und Produktverbesserung). Hierfür müssen zunächst (Echtzeit-)Daten durch das digitalisierte Produkt gesammelt werden. Das digitalisierte Produkt des ersten Reifegrades muss per Definition allerdings noch keine entsprechenden grundlegenden Logging- oder Sensing-Fähigkeiten besitzen, die für eine (umfangreiche) Datensammlung und -generierung notwendig wären. Auch die Vernetzung des Produkts steht erst ab dem zweiten Reifegrad im Fokus.

7.2. Data Analysis and Application	R1	R2	R3	R4	R5
7.2.1. Analysen basieren auf Echtzeitdaten				X	
7.2.2. Wiederverwendung von Echtzeitdaten			X		
7.2.3. Komponenten-Verbesserung			X		
7.2.4. Dynamische, automatisierte vorausschauende und vorsorgliche Service-Verbesserung			X		
7.2.5. Umgebungsdaten für dynamische Preisermittlung			X		
7.2.6. Prozess-Verbesserungen durch operativen Produktdaten		X			
7.2.7. Human-Resource-Operations-Support		X			
7.2.8. Support-Prozess-Optimierung durch Predictive Modeling und/oder Fast-Echtzeit-Simulationen			X		
7.2.9. Erfolgsmessung von Kampagnen		X			
7.2.10. Condition-based und Predictive Maintenance mit Echtzeitdaten			X		
7.2.11. Nicht vorhersehbare Echtzeit-Event-Reaktionen			X		
7.2.12. Operationelle Vorhersagen			X		
7.2.13. Verbesserung der Entscheidungsfindung			X		
7.2.14. Automatisierte Entscheidungsfindung (operativer Betrieb)			X		
7.2.15. Organisationsübergreifend Datenanalysen Bereitstellung				X	
7.2.16. Situational-Awareness- und Diagnosemaßnahmen-Support			X		
7.2.17. Vollständige Kundengruppensicht		X			
	Umsetzungsgrade	-	B	F	E
Legende					
Reifegrade: R1 = Smart Product; R2 = Smart, connected Product; R3 = Aware smart, connected Product; R4 = Product Systems; R5 = System-of-Systems;					
Umsetzungsgrade: - = nicht umgesetzt; B = Basis; F = Fortgeschritten; E = Exzellent					
* Optional: Eindeutige Zuordnung derzeit nicht möglich					

Tabelle 73: Vorschlag für die Zuordnung der Umsetzungsgrade für den Gestaltungsbereich Data Analysis and Application des DPMM

Der erste Reifegrad des Gestaltungsbereichs erhält dementsprechend den Umsetzungsgrad *Nicht Umgesetzt* (siehe Tabelle 73).

Gestaltungsbereich: Data Sharing

Für den dritten Gestaltungsbereich, Data Sharing, der Dimension konnten dem ersten Reifegrad ebenfalls keine Gestaltungsziele zugeordnet werden.

Die Gestaltungsziele des Gestaltungsbereichs konzentrieren sich auf Aspekte an, die das Teilen von Daten mit verschiedenen Stakeholdergruppen (z. B. Kooperationspartner, Kunden) adressieren. Das Teilen von Daten des digitalisierten Produkts als inhärente Eigenschaft ist jedoch erst ab dem zweiten Reifegrad vorgesehen. Daher erhält der erste Reifegrad des Gestaltungsbereichs ebenfalls den Umsetzungsgrad *Nicht Umgesetzt* (siehe Tabelle 74).

7.3. Data Sharing		R1	R2	R3	R4	R5
7.3.1.	Data-Sharing-Vorgaben und Performanz-Messung		X			
7.3.2.	Unternehmensinterne End-to-end Observability			X		
7.3.3.	Information Sharing innerhalb der Wertschöpfungskette		X			
7.3.4.	Partner: Policies, Strategien				X	
7.3.5.	Partner: Gebührenerfassung				X	
7.3.6.	Organisationsübergreifende Governance				X	
7.3.7.	Stakeholder teilen vertrauenswürdige Daten				X	
7.3.8.	Open-Data-Strategie					X
7.3.9.	Open-Data-Community-Developments					X
7.3.10.	Open-Data-Community-Support					X
7.3.11.	Interoperabilität-Standards und Open-Data bei Beschaffungen		X			
7.3.12.	Datenanfragen durch Kunden als Prozess					X
7.3.13.	Crowd-sourced-Daten					X
7.3.14.	Ende-zu-Ende-Datenfluss		X			
Umsetzungsgrade		-	B	B	F	E
Legende						
Reifegrade: R1 = Smart Product; R2 = Smart, connected Product; R3 = Aware smart, connected Product; R4 = Product Systems; R5 = System-of-Systems;						
Umsetzungsgrade: - = nicht umgesetzt; B = Basis; F = Fortgeschritten; E = Exzellent						
* Optional: Eindeutige Zuordnung derzeit nicht möglich						

Tabelle 74: Vorschlag für die Zuordnung der Umsetzungsgrade für den Gestaltungsbereich Data Sharing des DPMM

Gestaltungsbereich: Security and Privacy

Die Zuordnung der Gestaltungsziele für den vierten Gestaltungsbereich, Security and Privacy, ist weniger eindeutig als bei den vorherigen Bereichen.

Ein großer Teil der Gestaltungsziele lässt sich höheren Reifegraden zuordnen, da z. B. Sensoren zur Daten-Erfassung notwendig sind oder den Schutz der Daten der Partnerunternehmen betreffen. Diese Eigenschaften sind im geringen Maße frühestens auf dem zweiten Reifegrad oder spätestens auf dem vierten Reifegrad als inhärente Eigenschaft der Grade bzw. digitalisierten Produkte vorgesehen.

Die verbleibenden Gestaltungsziele sind aufgrund mangelnder Spezifikation des ersten Reifegrads nicht eindeutig dem ersten oder zweiten Reifegrad zu zuordnen.

Für den zweiten Reifegrad (Smart, connected Product) sind die Sammlung durch Sensoren und Teilen von Daten mit Dritten bzw. die Vernetzung zentrale Charakteristika des Reifegrad.

Für den ersten Reifegrad wurde jedoch nicht eindeutig spezifiziert, inwieweit Daten- und Privatsphäreschutz bereits notwendig sind, da nicht charakterisiert ist, welche (rudimentäre) Daten gesammelt und ausgetauscht werden (siehe Kapitel 5.2.2). So wird lediglich in den Ausführungen die Objektidentität direkt angesprochen und darüber hinaus nur erwähnt, dass eventuell weitere Informationen gespeichert und ausgetauscht werden. Es ist daher nicht geklärt, inwieweit es sich um zu schützende personenbezogen Daten oder zu schützende Produktdaten handelt. Ebenso wenig ist geklärt, ob diese nur im Zugriff der Nutzer sind oder auch mit dem Unternehmen geteilt werden. Auch eine Vernetzung über das Internet wird hier lediglich als mögliche Option beschrieben.

Dies hat jedoch Einfluss auf den etwaigen notwendigen und geforderten Datenschutz und die Privatsphäre. Es kann somit nicht ausgeschlossen werden kann, dass auch schon das digitalisierte Produkt des ersten Reifegrades sensible, zu schützende Informationen besitzt. Demzufolge werden alle Gestaltungsziele, die sich aufgrund dessen nicht eindeutig dem ersten oder zweiten Reifegrad zuordnen lassen, dem ersten Reifegrad zugeordnet, um so den Schutz sensibler Informationen sicherzustellen.

Aus diesem Grunde werden dem ersten Reifegrad die folgenden Gestaltungsziele zugeordnet:

- 7.4.6 (*Berücksichtigung aller Überlegungen und Anforderungen bzgl. der Sicherheit in allen Vorhaben des digitalisierten Produkts von Anfang an*),
- 7.4.9 (*Berücksichtigung der unterschiedlichen Datensensibilität*),
- 7.4.10 (*Berücksichtigung erweiterte Konzepte wie digitales Vergessen*),
- 7.4.11 (*Sicherstellung von personellen Ressourcen und Klärung von Verantwortlichkeiten*) und
- 7.4.12 (*Klärung von vorbeugenden oder reagierenden Konzepten*).

7.4. Security and Privacy		R1	R2	R3	R4	R5
7.4.1.	Kontinuierliche Weiterentwicklung der Sicherheitsstrategie				X	
7.4.2.	Organisationsübergreifende Abhängigkeiten				X	
7.4.3.	Schutz beim Austausch mit Partnern				X	
7.4.4.	Kundendaten im Unternehmen		X			
7.4.5.	Kundenprodukte und Services mit eingebauten Standards		X			
7.4.6.	Allgemeine Produkt-Sicherheits-Anforderungen	X				
7.4.7.	Zwei-Wege-Kommunikation (Home Area Networks)		X			
7.4.8.	Schutz Unbeteiligter Personen		X			
7.4.9.	Berücksichtigung von Datensensibilität	X				
7.4.10.	Erweiterte Sicherheits- und Privatsphäre-Fragestellungen	X				
7.4.11.	Ressourcen und Verantwortlichkeiten	X				
7.4.12.	Vorbeugende vs. reagierende Konzepte	X				
Umsetzungsgrade		B	F	F	E	E
Legende						
Reifegrade: R1 = Smart Product; R2 = Smart, connected Product; R3 = Aware smart, connected Product; R4 = Product Systems; R5 = System-of-Systems;						
Umsetzungsgrade: - = nicht umgesetzt; B = Basis; F = Fortgeschritten; E = Exzellent						
* Optional: Eindeutige Zuordnung derzeit nicht möglich						

Tabelle 75: Vorschlag für die Zuordnung der Umsetzungsgrade für den Gestaltungsbereich Security and Privacy des DPMM

Daraus ergibt sich für den Reifegrad des Gestaltungsbereichs der Umsetzungsgrad *Basic* (siehe Tabelle 75).

6.3.3 Kritische Reflexion der vorgeschlagenen Zuordnung

Die Zuordnung der Gestaltungsziele zu den Reifegraden und daraus resultierende Umsetzungsgrade unterlag verschiedenen Herausforderungen, die sowohl Möglichkeiten für die Überarbeitung des Modells der vorliegenden Arbeit, dem DPMM, als auch Verbesserung der Reifegradmodellierung im Allgemeinen bieten. Dabei lassen sich die Herausforderungen und sich ergebenden Ideen zu den folgenden Themenbereichen zusammenführen : *Reifegrade, Umsetzungsgrade und Gestaltungsziele/-bereiche*.

Problembereich Reifegrade

Abgrenzung der Reifegrade: Die meisten Herausforderungen ergaben sich aufgrund nicht detailliert genug ausgestalteter Reifegrade (oder ungenaue Gestaltungsziele). Dadurch war eine eindeutige Zuordnung der Gestaltungsziele nicht immer gegeben bzw. erschwert. Dies traf insbesondere den ersten Reifegrad, da er im Vergleich zu den anderen Reifegraden am wenigsten trennscharf ausgear-

beitet war. Für eine zukünftige bessere Zuordnung, z. B. von neuen Gestaltungszielen, empfiehlt sich daher die Überarbeitung der Abgrenzung in einer nächsten Modell-Iteration.

Zweiter und dritter Reifegrad: Der zweite und dritte Reifegrad zeigten darüber hinaus eine hohe Überschneidung hinsichtlich der Umsetzungsgrade auf. Einen unterschiedlichen Umsetzungsgrad wiesen beide Reifegrade nur in den folgenden Gestaltungsbereichen auf:

- 4.2. Procurement, Sales, Services and Operation,
- 5.1. IT Architecture,
- 6.1. Product IT Architecture und
- 7.2. Data Analysis and Application.

Die unterschiedlichen Umsetzungsgrade in diesen Gestaltungsbereichen basieren auf der Möglichkeit von Echtzeit-Daten bzw. Echtzeit-Reaktionen, die digitalisierte Produkte des dritten Reifegrads im Gegensatz zum zweiten Reifegrad aufweisen. Eine Zusammenführung der beiden Reifegrade wäre daher aufgrund des eher geringen Unterschieds denkbar.

Ergänzende Reifegrade: Problematisch war auch die Einordnung von innovativen Ansätzen und Zielen. Sie wurden meist in Anlehnung an die ursprünglichen Reifegradmodelle auf dem höchsten Reifegrad eingeordnet, falls durch die Reifegrade der Arbeit keine andere Einordnung vorgegeben war. Vor dem Hintergrund aktueller Entwicklungen wie der Klimakrise oder dem steigenden Wettbewerb im Bereich digitalisierter Produkte wäre zu diskutieren, ob eine frühere Verordnung von solchen Gestaltungszielen nicht trotzdem sinnvoller wäre. Gestaltungsziele wie die *Etablierung einer Innovationskultur* (2.1.3) könnten sicher schon früher in gewissem Maße umgesetzt werden. Alternativ wäre die Erweiterung des DPMM um einen Reifegrad für innovativen Ansätze denkbar.

Auch ein Reifegrad 0 für Unternehmen, die noch nicht mit der Umsetzung von digitalisierten Produkten begonnen haben und daher ggf. noch auf keinem Reifegrad verordnet werden können, ist denkbar.

Ergebnis: Für die Reifegradmodellierung im Allgemeinen lässt sich aus diesen Problemen ableiten, einen Zwischenprüfungsschritt bei der Modellentwicklung einzuführen, der die Abgrenzung der Reifegrade sicherstellt. Nach der Identifizierung aller Gestaltungsdimensionen/-bereiche/-ziele sollte eine Prüfung erfolgen, ob alle Themeninhalte der Gestaltungsbereiche und -ziele in den Reifegraden abgrenzend enthalten sind.

Dies ist insofern nötig, da die Reifegradmodellgestaltung im Allgemeinen einem iterativen Prozess folgt, der die Architekturgestaltung *vor* der inhaltlichen Ausgestaltung sieht, aber keine spätere Anpassung der Architekturkomponenten, die sich aus der inhaltlichen Ausgestaltung ergeben könnte (siehe Kapitel 4.4.1).

Lediglich das Vorgehensmodell von BECKER ET AL. (2009, S. 254–255) sieht verschiedene Zwischenevaluationsschritte und Rücksprungmöglichkeiten für die Modellverbesserung vor, bleiben aber inhaltlich vage, wie eine Modellprüfung aussehen kann, und ob dies die Veränderung der Modellarchitektur aufgrund der inhaltlichen Ausgestaltung inkludiert.

Problembereich Umsetzungsgrade:

Bei der Ermittlung der Umsetzungsgrade gab es keine Probleme, da diese auf eindeutigen prozentualen Grenzen basieren. Die prozentualen Grenzen ermöglichen zudem einen gewissen Spielraum für die Erreichung eines Reifegrads und erlauben dadurch verschiedenen Unternehmen oder Einrichtungen und deren unterschiedlichen Ausprägungen digitalisierter Produkte bestimmte Reifegrade zu erreichen.

Ändern der Grenzen: Allerdings wäre eine Veränderung der Verteilung der prozentualen Grenzen denkbar: So könnte es sein, dass bei der Praxis-Anwendung des DPMM der höchste Umsetzungsgrad (*Exzellent*) kaum oder gar nicht erreicht werden kann. Der Umsetzungsgrad fordert derzeit eine 100% Umsetzung aller Gestaltungsziele eines Gestaltungsbereichs, was je nach Domäne und digitalisiertem Produkt möglicherweise schwierig zu erreichen ist. Hier könnte daher eine Senkung des Umsetzungsgrades auf 80% oder 90% sinnvoller sein, um den Spielraum bzgl. der verschiedenen Domänen weiter zu unterstützen.

Eine Alternative hierzu wäre die Ergänzung des DPMM um einen weiteren Umsetzungsgrad als Zwischenstufe zwischen Fortgeschritten und Exzellent. Diese Überprüfung sollte demnach Teil einer zukünftigen Evaluation des Modells sein, bei der z. B. verschiedene erzielte Umsetzungsgrade verschiedener Unternehmen/Einrichtungen miteinander verglichen werden.

Für die aktuelle Modellversion und deren Einsatz stellt dies derzeit jedoch kein Problem dar, da das DPMM sowohl mit als auch ohne Umsetzungsgrade einsatzfähig ist. Das Modell in seiner jetzigen Version bietet bereits Potentiale und Ansatzpunkte für Unternehmen und öffentliche Einrichtungen die Entwicklung digitalisierter Produkte zu verbessern, wie im Rahmen der Evaluation in Kapitel 7 illustriert wird.

Auch andere Reifegradmodelle, wie z. B. von THE SCOTTISH GOVERNMENT ET AL. (2014), kommen ohne Umsetzungsgrade oder den aus dem CMMI bekannten Fähigkeitsgrade (siehe Kapitel 5.2.4) aus.

Gestaltungsziele/-bereiche:

Aktualität der Modelle/Ziele: Bei der Zuordnung von Gestaltungszielen zu den Reifegraden wurde sich zum einen an der Beschreibung der Reifegrade und zum anderen an der Zuordnung des Gestaltungsziels im Ursprungsreifegradmodell orientiert. Der Rückgriff auf die ursprünglichen Reifegradmodelle half insbesondere in solchen Fällen, in denen eine inhaltliche Zuordnung aufgrund der Reifegradbeschreibung/-abgrenzung oder der Beschreibung des Gestaltungsziels nicht eindeutig war. Doch auch der Rückgriff hatte seine eigenen Schwierigkeiten.

Ein Problem stellte dabei die Aktualität der Modelle dar. Grundsätzlich sind die Gestaltungsziele Technologie-unabhängig gestaltet. Dennoch können technologische Veränderungen Auswirkungen auf die Einfachheit der Umsetzbarkeit verschiedener Konzepte bzw. Gestaltungsziele haben.

Ein Beispiel hierfür ist die vom SGMM TEAM (2011, S. 50) geforderte sichere 2-Wege-Kommunikation mit Heimnetzen (Gestaltungsziel 7.4.7.), die vom SGMM-Modell selbst auf dem vorletzten Reifegrad verordnet wurde (SGMM Team 2011, S. 10). Diese eher späte Einordnung des Gestaltungsziels trotz der hohen Priorität aufgrund der Sicherheitsthematik mag in diesem Fall daran liegen, dass 2011, als die entsprechende Publikation des Modells veröffentlicht wurde, HTTPS (Hypertext Transfer Protocol Secure) noch nicht flächendeckend vorhanden war.

Bis 2015 und der Einführung von Let's Encrypt war die Umsetzung von HTTPS kostenintensiv und kompliziert, was insbesondere mittlere und kleinere Unternehmen an der dafür notwendigen Zertifizierung hinderte, sodass keine Flächendeckung von HTTPS vorhanden war. Die Einführung von Let's Encrypt und die damit einhergehende Automatisierung der Zertifizierung, wie auch dem kostenlosen Angebot, änderte dies und spielt seitdem auch bei IoT-Ökosystemen eine wichtige Rolle für die Umsetzung von HTTPS (Aas et al. 2019, S. 2473–2483). Eine Umsetzung der 2-Wege-Kommunikation mit Heimnetzen war somit 2011 noch komplizierter als nach 2015.

Daher wurde dieses Gestaltungsziel im DPMM einem niedrigeren Reifegrad zugeordnet und damit von der höheren Eingruppierung des ursprünglichen Modells abgewichen. Grundsätzlich unterstreicht dies für die allgemeine Reifegradmodellentwicklung, dass selbst Technologie-unabhängige Reifegradmodelle auf lange Sicht kontinuierlich überprüft und überarbeitet werden müssen.

Unterschiedliche Reifegrade: Die Übertragung der Ziele und der Vergleich der Zuordnung mit den originären Reifegradmodellen gestalteten sich darüber hinaus aufgrund der verschiedenen Reifegrad-Ausprägungen in den Ursprungs-Modellen unterschiedlich schwierig.

Die Reifegradmodelle von THE SCOTTISH GOVERNMENT ET AL. (2014) und SGMM TEAM (2011) weisen ähnliche Reifegrade (inhaltlich und in der summarischen Anzahl) zum DPMM auf, sodass hier die Übertragung und der Vergleich am einfachsten möglich war.

Im Gegensatz dazu weist das Modell von AKDIL ET AL. (2018) z. B. nur drei Reifegrade auf und ordnet viele der Gestaltungsziele mittels der Ausprägungen *high*, *medium* und *low* den jeweiligen Reifegraden zu. Eine nähere Beschreibung, was mit *high*, *medium* und *low* gemeint ist, fehlt. So wird z. B. das Ziel „*Automation of financial services is at high level [...]*“ dem höchsten Reifegrad zugeordnet, während dasselbe Ziel auch auf dem darunter liegenden Reifegrad als „*Automation of financial services is at medium level [...]*“ verordnet wurde (Akdil et al. 2018, S. 72–73). Eine weitere Abgrenzung der beiden Ziele erfolgt nicht. Das Reifegradmodell konnte daher oft nur eine grobe Richtung für die Einordnung der Gestaltungsziele bieten, sodass in einzelnen Fällen weitere Recherchen notwendig waren.

Optionale Gestaltungsziele: Zur Verbesserung der Flexibilität bei der Einordnung von Unternehmen und Einrichtungen, ist darüber hinaus die Einführung von optionalen Gestaltungszielen (und Gestaltungsbereichen) denkbar. Hierfür sind jedoch verschiedene Evaluationen notwendig, die eine Bewertung der Gestaltungsziele hinsichtlich Optionalität oder Domänenabhängigkeit ermöglichen.

Vorabstufen der Gestaltungsziele: Im Rahmen der Auswahl der relevanten Gestaltungsziele für das DPMM wurde immer die höchste Ausprägung eines Gestaltungsziels ausgewählt und damit Vorabstufen dieser Ziele bewusst ausgelassen. Aufgrund der Menge der dadurch gesammelten Ziele und dem damit einhergehenden Umfang des Modells war es ein sinnvolles Vorgehen nur den optimalen Zustand als Zielvorgabe zu ermitteln. Wird das DPMM zukünftig vereinfacht, könnte die Einführung von Vorabstufen ggf. sinnvoll sein, um die Unternehmen/Einrichtungen bei der Entwicklung digitalisierter Produkte in kleineren Schritten zu unterstützen. Hierfür sind allerdings zusätzliche Recherchen notwendig, da nicht für alle Gestaltungsziele solche Vorabziele in den Ursprungsmodellen existieren.

6.4 Zusammenfassung der Ergebnisse des Kapitels

Ziel des vorliegenden Kapitels war das Modellfeinkonzept basierend auf dem groben Modellkonzept des vorangegangenen Kapitel 5 zu entwickeln. Als erster

Schritt wurden die Gestaltungsziele identifiziert und zu thematisch-gruppierten Gestaltungsbereichen gebündelt. Die jeweiligen Gestaltungsbereiche wurden dann den Gestaltungsdimensionen des groben Modellkonzepts zugeordnet. Dadurch wurde die Modellstruktur finalisiert.

Als nächster Schritt wurden die sich dabei ergebenden Teilartefakte evaluiert, indem sie mit den Herausforderungen des Kapitels 3.4 abgeglichen wurden. Dadurch konnten einerseits Lücken im entstandenen Modell identifiziert werden und andererseits die Nützlichkeit teilweise demonstriert werden. Den Lücken wurden durch die Ergänzung von neuen Gestaltungszielen oder der Verbesserung vorhandener Gestaltungszielen entgegengewirkt. Durch die bereits vorhandene hohe Abdeckung der Herausforderung konnte gezeigt werden, dass das DPMM helfen kann, die entsprechenden Herausforderungen bei der Planung, Entwicklung und dem Einsatz digitalisierter Produkte frühzeitig zu adressieren.

Darauf aufbauend wurde ein Vorschlag für die Zuordnung der Gestaltungsziele zu den Reifegraden und sich daraus ergebende Umsetzungsgrade vorgelegt. Eine Diskussion der Zuordnung erfolgte beispielhaft für den ganzen Gestaltungsbereich Skill Development (horizontal) und für den ersten Reifegrad der vollständigen Dimension Organizational Data and Analytics (vertikal).

In den Kapiteln 6.2.8 und 6.3.3 wurden die beiden Teilbereiche dieses Kapitels (Ausgestaltung der Dimensionen/Bereiche und Vorschlag für die Umsetzungsgrade) jeweils kritisch reflektiert und entsprechend Verbesserungspotentiale hinsichtlich des Modells als auch der Reifegradmodellierung im Allgemeinen identifiziert.

Abschließend kann konstatiert werden, dass das im Rahmen dieses Kapitels entstandene Modell zahlreichen Gestaltungsbereiche und -ziele aufweist, die ggf. eine direkte Praxis-Anwendung erschweren könnten. Grundsätzlich ist das DPMM für einen Praxiseinsatz einsatzbereit, eine Operationalisierung des Modells wäre sicher dennoch wünschenswert und sollte daher ein nächster Modelliterationsschritt sein.

Für die Evaluation des DPMM im nachfolgenden Kapitel 7 wird dennoch zunächst die vollständige Version des Modells eingesetzt, da dadurch ggf. weitere Aspekte für die nächste Modellanpassung gewonnen werden können. Die evaluierte und damit abschließende Modellversion (theoretisches Modell) – das vollständige Ergebnisartefakt der vorliegenden Arbeit – findet sich schließlich in Anhang B.

7 Evaluation und Demonstration des DPMM

In dem vorliegenden Kapitel wird die Evaluation des entwickelten Reifegradmodells aus Kapitel 6, dem DPMM, durchgeführt, wobei gleichzeitig auch eine Demonstration des Modells stattfindet. Grundlage für die Modellevaluation stellen dabei die in Kapitel 5.2.6 a priori diskutierten und festgelegten Parameter der Modellevaluation dar.

Im Folgenden wird darauf aufbauend die langfristige strategische Planung und Methodik der Modellevaluation der vorliegenden Arbeit und darüber hinaus entwickelt (KAPITEL 7.1). Im Anschluss erfolgt eine Evaluation des entwickelten Modells aus Kapitel 6 (KAPITEL 7.2).

Das Kapitel schließt mit einer Zusammenfassung der Ergebnisse der Evaluation (KAPITEL 7.3).

Die finale Version des Modells der vorliegenden Arbeit findet sich in Anhang B.

7.1 Festlegung der langfristigen Strategie der Modell-Evaluation und zugehöriger Episoden

Die Evaluation eines Reifegradmodells dient der Verbesserung der Modellqualität, indem das Modell und seine Assessment-Instrumente vor dem operativen Einsatz u. a. auf Relevanz, Rigor, Validität, Reliabilität und/oder Nützlichkeit hin untersucht werden (de Bruin et al. 2005, o. S.). Daher ist die Evaluation auch Bestandteil der Vorgehensmodelle für die Entwicklung von Reifegradmodellen (siehe Kapitel 4.4.1) und ordnet sich damit in die geforderten Rahmenbedingungen der Design Science Research (siehe Kapitel 1.4) ein.

FRASER ET AL. (2002, S. 248) weisen allerdings daraufhin, dass Reifegradmodelle durch ihre Erstellung bereits eine gewisse Validation erfahren, wenn auch keine rigorose. Ihre Elemente sind entweder aus publizierten Studien guter Praxis abgeleitet oder basieren auf Erfahrungen aus der Praxisobservation. Daher ist zu berücksichtigen, dass auch die dem Reifegradmodell der vorliegenden Arbeit, dem DPMM, zugrundeliegenden Anwendungsdomänen-Modelle demnach eine gewisse Form der Evaluation und Validation bereits erfahren haben.

In der Praxis findet eine (rigorose) Evaluation von Reifegradmodellen jedoch eher selten statt, was auch an fehlender Hilfestellung hinsichtlich der Auswahl und Eignung von geeigneten Methoden geschuldet sein mag. So werden zwar gelegentlich verschiedene Methoden wie Fokusgruppen, Interviews oder Case Studies, z. B. im Rahmen der Vorgehensmodelle, vorgeschlagen, deren Eignung für das jeweilige

Reifegradmodell in Abhängigkeit von Modelltyp, Thema, Umfang, Modellgestaltung, Zielgruppe, Einsatzgebiet oder Messmethoden des Modells bleibt dabei meist offen (siehe Kapitel 4.4.1 und insbesondere Tabelle 31).

Ebenso wenig existiert eine Gesamtübersicht über potentielle Reifegradmodell-Evaluationsmethoden oder deren sinnvolle Kombination. Lediglich HELGESSON ET AL. (2012, S. 439) schlagen ein Framework vor, das die Evaluation von Reifegradmodellen in drei Kategorien anhand der Personengruppen, die die Evaluation durchführen, unterteilt (siehe Tabelle 76). Die Autoren machen jedoch keine Aussage über die Effektivität der jeweiligen Typen und damit, welche Art der Evaluation zu welchem Zeitpunkt oder in welcher Reihenfolge sinnvoll wäre. Sie weisen lediglich auf den Aufwand bzw. die damit verbundenen Kosten hin.

Typ	Beschreibung	Bewertung
1	Evaluationsdurchführung durch (interne) Domänen-Experten (z. B. den Modellentwicklern) basierend auf deren Wissen oder durch den Vergleich mit ähnlichen Frameworks/Modellen.	Evaluation des geringsten Aufwands bzw. der geringsten Kosten.
2	Evaluationsdurchführung durch Praktiker (externe Domänen-Experten), die nicht an der Modellentwicklung beteiligt waren (z. B. durch Interviews, Umfragen oder simulierte Aufgaben).	Im Vergleich zu Typ 1 kompliziertere Evaluation.
3	Evaluationsdurchführung in einer realen Praxis-Umgebung.	Evaluation, die den höchsten Aufwand bzw. die höchsten Kosten bedingt.

Tabelle 76: Typen der Reifegradmodellevaluation in Abhängigkeit der durchzuführenden Personengruppe

Quelle: in Anlehnung an HELGESSON ET AL. (2012, S. 439)

Bei innovativen Reifegradmodellen stellt die unreife Domäne eine weitere Herausforderung dar, da hierbei die Ressourcen für eine Evaluation eingeschränkt sind. So existieren nur bedingt Daten, Fallstudien oder geeignete Unternehmen, die für eine Evaluation des Modells zur Verfügung stehen (de Bruin et al. 2005, o. S.; Lahrman et al. 2011, S. 178).

Auch das Vorwissen und die Erfahrung der bei einer Evaluation des Modells zum Einsatz kommenden Stakeholder kann die Qualität oder die Durchführbarkeit der Evaluation einschränken. So weisen DE BRUIN ET AL. (2005, o. S.) anhand eines Fallbeispiels darauf hin, dass eine Evaluation mittels einer Umfrage in einem Unternehmen aufgrund der zu geringen Anzahl verfügbarer Auskunftgebender zunächst nicht möglich war.

Die Analyse von Entwicklungsprozessen verschiedener Reifegradmodelle von BECKER ET AL. (2009, S. 253) zeigt darüber hinaus, dass Reifegradmodellevaluationen meist in mehreren Iterationen bzw. aus verschiedenen Methodenkombinationen

stattfinden (z. B. Review, Workshop-Diskussion und praktische Anwendung) und einen Zeitraum von bis zu zwei Jahren einnehmen können.

Auch die Untersuchung von HELGESSON ET AL. (2012, S. 437–449) bestätigt dies: Etablierte Reifegradmodelle durchlaufen langfristig viele verschiedene Evaluationen, die als aufwändig hinsichtlich Zeit und Kosten einzustufen sind. Dabei weisen die Autoren auch darauf hin, dass die Evaluation trotzdem ein wichtiger Bestandteil der Entwicklung darstellt und die erste Evaluation in der Regel durch die Entwickler des Modells selbst durchgeführt wird.

Daher sind aufgrund der skizzierten Problematiken entsprechende Hilfestellungen bei der Wahl und Kombination von Methoden für die Reifegradmodellevaluation notwendig und sollten daher Teil der zukünftigen Reifegradmodell-Forschung sein.

Aus der Design Science Research stammt das FEDS-Modell von VENABLE ET AL. (2016), ein 4-Schritte-Framework zur Unterstützung der Evaluation von Design-Science-Research-Artefakten. Das Framework wird im Folgenden als Begleitinstrument herangezogen, da die Reifegradmodellierung selbst keine derartige Hilfe bereitstellt. Das Modell thematisiert allerdings lediglich die Unterstützung der Evaluationsvorbereitung und nicht die Durchführung oder Ergebnisauswertung. Für ebendiese Evaluationsvorbereitung sieht das Modell die folgenden vier Schritte vor, die im Nachfolgenden durchgeführt werden:

1. Ziele der Evaluation explizit machen.
2. Geeignete Strategie(n) für die Evaluation auswählen.
3. Die zu evaluierenden Eigenschaften des Artefakts festlegen.
4. Entwurf der individuellen Evaluationsepisode(n).

7.1.1 Schritt 1: Ziele der Evaluation festlegen

Als ersten Schritt der Planung der Evaluation eines Design-Science-Research-Artefakts sieht das FEDS-Framework die Festlegung der Evaluations-Ziele vor. Hier differenziert das Framework zwischen vier gegebenenfalls konkurrierende Evaluationszielen und jeweils dazu passende Evaluationsmethoden. Diese gilt es für das Artefakt bzw. das DPMM abzuwägen. Eine Zusammenfassung der möglichen Ziele und ihre jeweiligen Methoden finden sich in Tabelle 77.

Rigor: Rigor wurde bereits im Rahmen der Evaluationsparameter der Vorgehensmodelle der Reifegradmodellierung in Kapitel 5.2.6 als Evaluationsziel für Reifegradmodelle identifiziert. Während das FEDS-Framework Rigor durch *Wirksamkeit* und *Effektivität* definiert (siehe Tabelle 77), wurde Rigor bei den Evaluationsparametern des Kapitel 5.2.6 durch die *Construct Validity* bestehend aus *Face Validity* (korrekte Übersetzung der Konstrukte) und *Content Validity* (Vollständigkeit der

Domänenrepräsentation) ausgedrückt. Rigor im Allgemeinen stellt daher ein Ziel für die Evaluation im Rahmen der vorliegenden Arbeit dar. Welche der identifizierten Unterziele dabei priorisiert werden können oder müssen, wird in den folgenden Schritten näher spezifiziert.

Evalua- tionsziel	Beschreibung	Passende Evaluationsmethoden
Rigor	Wird ausgedrückt durch - <i>Wirksamkeit</i> : Artefakt und nur das Artefakt erzeugt ein beobachtbares Ergebnis - <i>Effektivität</i> : Artefakt funktioniert in einer realen Situation	<i>Wirksamkeit</i> : - künstliche Evaluationsmethoden <i>Effektivität</i> : - naturalistische Evaluationsmethoden <i>Summative Evaluation(en)</i> ²⁰ für höchsten Rigor, meist am Ende der Evaluation
Unsicherheit und Risiko-Reduktion	Unsicherheit in Bezug auf das Artefakt-Design Risiko-Reduktion in Bezug auf - <i>Human Social/Use Risks</i> : z. B. Risiken, dass das Artefakt nicht in die Nutzungs- oder soziale Situation passt und daher nicht richtig arbeitet oder zu weiteren Problemen führt - <i>Technische Risiken</i> : z.B. Risiken, dass die Technologie nicht funktionsfähig ist	Frühzeitige <i>formative Evaluationen</i> zur Verbesserung des Designs, der Qualität und Reduzierung der Kosten durch Auflösen der Unsicherheiten und Risiken.
Ethik	Insbesondere die Evaluation sicherheitskritischer Systeme und Technologien sollte potentielle Risiken in Bezug auf Menschen, Tiere, Organisationen, die Öffentlichkeit oder zukünftige Generationen adressieren. Dabei sollte die Evaluationsaktivität ebenfalls zu keinem Risiko für die Stakeholder führen.	Kombination aus <i>formativen</i> und <i>summativen Evaluationen</i> notwendig, um die Risiken in Bezug auf eventuelle Artefakt-Nutzer zu reduzieren.
Effizienz	Ausbalancieren der anderen Ziele in Bezug auf zur Verfügung stehenden Ressourcen	<i>Formative Evaluationen</i> zur Reduzierung der Kosten bevor die Kosten der Artefakt-Instanzierung anfallen. <i>Naturalistische Evaluationen</i> dauern hierbei länger und sind kostenintensiver als <i>künstliche Evaluationen</i> .

Tabelle 77: Evaluationsziele und zugehörige Evaluationsmethoden des FEDS-Framework

Quelle: in Anlehnung an VENABLE ET AL. (2016, S. 82–83)

Unsicherheit und Risiko-Reduktion: Ziel des Reifegradmodells ist der Einsatz in einem sozialen Kontext. Daher besteht das Risiko, dass die Zielgruppe das Modell nicht korrekt anwenden kann, wodurch es zu verschiedenen Fehlfunktionen kommen kann. Dies kann in Zusammenhang mit der Face Validity oder Content Validity stehen, aber auch an der Komplexität, Nutzerfreundlichkeit bzw. Design des Modells liegen. Daher stellt die Risiko-Reduktion in Bezug auf soziale Risiken

²⁰ Summative und formative Evaluation wurden bereits in Kapitel 5.2.6 erläutert, sowie im nächsten Kapitel 7.1.2 im Rahmen der Wahl der Evaluationsstrategie

oder Nutzungsrisiken und die Evaluation des Designs ein weiteres Ziel der Evaluation dar.

Effizienz: Für die Evaluation stehen nur begrenzt Ressourcen zur Verfügung, da das DPMM im Rahmen einer Dissertationsschrift entwickelt wurde, das Modell alle Unternehmensbereiche adressiert und die Domäne digitalisierter Produkte eher als unreif einzustufen ist. Demzufolge ist Effizienz ebenfalls ein Ziel der Evaluation.

Ethik: Ethik wiederum stellt im Rahmen der vorliegenden Arbeit kein zu priorisierendes Ziel dar, da es sich bei dem DPMM selbst um kein sicherheitskritisches System bzw. keine sicherheitskritische Technologie handelt. Es kann jedoch sein, dass es zukünftig in Anwendungsdomänen zur Entwicklung sicherheitskritischer Systeme eingesetzt wird, weswegen langfristig auch hier das Modell diesbezüglich evaluiert werden sollte.

Folglich sind *Rigor*, *Risiko-Reduktion* und *Effizienz* die Ziele für die Evaluierung des DPMM. Hierbei zeigt sich allerdings, dass die Erfüllung aller drei Ziele nicht durch eine einzige Evaluationsmethode abgedeckt werden kann. Dies stützt die zuvor angesprochene These des notwendigen Einsatzes mehrerer Evaluationsmethoden zur Evaluation von Reifegradmodellen. Die Priorisierung der Evaluationsziele erfolgt daher als Teil des nächsten Schrittes bei der Wahl der Evaluationsstrategie.

7.1.2 Schritt 2: Wahl der Evaluationsstrategie

Dem FEDS-Framework nach gibt es vier typische Evaluationsstrategien, die einzeln oder kombiniert eingesetzt werden können. Jede Strategie umfasst dabei Entscheidungen hinsichtlich *Warum*, *Wann* und *Wie* evaluiert wird und stellt eine Progression aus einzelnen Evaluationsepisoden dar. Die Evaluationsepisoden konstituieren wiederum einen Pfad zu einer finalen summativen Evaluation, die letztendlich das Design-Science-Research-Projekt finalisiert (Venable et al. 2016, S. 81–83) (siehe hierzu auch Ausführungen in Kapitel 5.2.6).

Eine Evaluationsepisode ist dementsprechend charakterisiert durch die Positionierung auf dem Pfad (Zeitpunkt der Evaluation), des eingesetzten Methodentyps (naturalistisch oder künstlich) und ob es sich dabei um eine formative oder summative Evaluation handelt (Venable et al. 2016, S. 81–83).

Eine Übersicht der vier Evaluationsstrategien (*Quick & Simple*, *Human Risk & Effectiveness*, *Technical Risk & Efficacy*, *Purely Technical Artefact*), ihrer zentralen Charakteristika und Auswahlzenarien findet sich in Tabelle 78.

	Charakteristika	Auswahlzenarien
Quick & Simple	<ul style="list-style-type: none"> - wenige Evaluationsepisoden - wenige formative Evaluation - frühzeitige summative und naturalistische Evaluation - geringe Kosten - schneller Projektabschluss 	Sollte ausgewählt werden, bei einem kleinen, einfachen Designkonstrukt, mit niedrigen sozialen und technischen Risiken und Unsicherheiten
Human Risk & Effectiveness	<ul style="list-style-type: none"> - viele Evaluationsepisoden - Betonung formativer Evaluation früh im Prozess - frühzeitiger Einsatz naturalistischer Methoden - Gegen Ende mehr summative Evaluationen (Fokus Artefakt-Effektivität) 	Sollte ausgewählt werden, <ol style="list-style-type: none"> 1. wenn das größte Design-Risiko sozial oder Nutzer-orientiert ist und/oder 2. wenn eine Evaluation mit realen Nutzer*innen in einem realen Kontext relativ günstig ist und/oder 3. wenn ein kritisches Ziel der Evaluation ist, rigoros nachzuweisen, dass die Nützlichkeit/Vorteile in realen Situationen und über eine längere Dauer weiterhin bestehen
Technical Risk & Efficacy	<ul style="list-style-type: none"> - Viele Evaluationsepisoden aus formativen (früh im Prozess), aber vor allem summativen Evaluationen - vorrangiger Einsatz künstliche Methoden - erst gegen Ende des Prozesses mehr Einsatz naturalistische Evaluationen 	Sollte ausgewählt werden, <ol style="list-style-type: none"> 1. wenn das größte Design-Risiko technisch orientiert ist und/oder 2. wenn die Kosten der Evaluation mit realen Nutzer*innen oder realen System in einem realen Setting untragbar sind und/oder 3. wenn ein kritisches Ziel der Evaluation darin besteht, rigoros nachzuweisen, dass die Nützlichkeit/Vorteile dem Artefakt geschuldet sind und nicht etwas anderem
Purely Technical Artefact	<ul style="list-style-type: none"> - Wenige Evaluationsepisoden aus formativen und summativen Evaluationen - nur künstliche Methoden kommen zum Einsatz 	Sollte ausgewählt werden, wenn das Artefakt rein technisch (keine sozialen Aspekte) oder der Einsatz des Artefakts weit in der Zukunft liegt und nicht heute

Tabelle 78: Zentrale Charakteristika und Auswahlzenarien der Design-Science-Research-Evaluationsstrategien

Quelle: in Anlehnung an VENABLE (2006) und VENABLE ET AL. (2016, S. 80–83)

Für die Wahl der passenden Strategie(n) ist es dem Framework zufolge notwendig (Venable et al. 2016, S. 83):

- die Design-Risiken zu bewerten und zu priorisieren,
- die Kosten einer Evaluation mit realen Nutzern und realen Systemen in einem realen Setting zu bewerten,
- zu bewerten, inwieweit das Artefakt rein technisch ist (keine soziale Interaktion) oder dessen Einsatz weit in der Zukunft liegt, und
- zu bewerten, inwieweit das Designkonstrukt klein und einfach oder groß und komplex ist.

Der Aufwand (Zeit bzw. Kosten) für eine Evaluierung des Modells mit realen Nutzern und realen Systemen in einem realen Setting ist bei der Reifegradmodellierung grundsätzlich als hoch einzustufen (Helgesson et al. 2012, S. 439). Im Falle des DPMM kommt erschwerend hinzu, dass das Modell alle Unternehmensbereiche betrifft und die Domäne der digitalisierten Produkte eher als unreif einzustufen ist. Durch die zur Verfügung stehenden Ressourcen im Rahmen der Dissertationsschrift können daher nur Evaluationsepisoden unter Nutzung künstlicher Methoden zum Einsatz kommen.

Da das DPMM aber eine soziale Interaktion erfordert, sollten die künstlichen Methoden in einer späteren Evaluationsepisode durch naturalistische Evaluationen ergänzt werden. Dementsprechend wird das Ziel der Risikoreduktion in Bezug auf soziale/Nutzungsrisiken zunächst geringer eingestuft, während Rigor und Effizienz priorisiert werden. Dabei kann aufgrund der oben genannten Punkte Rigor nur in Bezug auf Wirksamkeit und Construct Validity priorisiert werden, nicht jedoch in Bezug auf Effektivität, da ein realer Einsatz zu diesem Zeitpunkt nicht getestet werden kann.

Für die Reifegradmodellierung konnte bereits zuvor festgestellt werden, dass multiple Evaluationsepisoden notwendig sind, um ein erfolgreiches Reifegradmodell zu etablieren. Hierfür ist es außerdem notwendig, das Modell sowohl hinsichtlich mit Fokus auf Verbesserung (formative Evaluation) als auch seine Einsatzfähigkeit in verschiedenen Kontexten (summative Evaluation) zu prüfen (siehe hierzu auch die empfohlenen Evaluationsmethoden für die Ziele in Tabelle 77).

Daher eignet sich für die Evaluation des DPMM die *Human-Risk-and-Effectiveness*-Strategie (siehe Tabelle 78).

7.1.3 Schritt 3: Festlegung der zu evaluierenden Eigenschaften

Als nächster Schritt sieht das FEDS-Framework vor, die zu evaluierenden Eigenschaften des Artefakts zu bestimmen. Dazu können Ziele, Eigenschaften oder Anforderungen eines Artefakts zählen. Für eine entwickelte Software wären dies beispielsweise ISO-Qualitätsattribute wie Verlässlichkeit, Portierbarkeit und Sicherheit (Venable et al. 2016, S. 83–84). Durch die bereits festgelegten Parameter aus Kapitel 5.2.6 wurden die *Content* und *Face Validity* als zu evaluierende Eigenschaften vorgegeben.

Aus Design-Science-Research-Perspektive handelt es sich bei Reifegradmodellen sowohl in Teilen um Modelle wie auch in Teilen um Methoden (Mettler 2009, o. S.), die dementsprechend verschiedene Evaluationskriterien aufweisen (siehe Tabelle

79). Die unterschiedlichen Evaluationskriterien wiederum bedingen verschiedene Ansätze für die Artefakt-Evaluation (March und Smith 1995, S. 261; Pfeiffer und Niehaves 2005, o. S.). Die nicht eindeutige Zuordnung von Reifegradmodellen zu einem Artefakt-Typ bzw. die Kombination zweier Artefakt-Typen und sich daraus ergebende Folgen für die Evaluation mag die Ursache für die bereits angesprochenen komplexe Evaluation von Reifegradmodellen sein.

Evaluationskriterien für Methoden	Evaluationskriterien für Modelle
- Allgemeingültigkeit	- Angemessenheit der Konstruktion
- Effizienz	- Detaillevel
- Eignung	- Interne Konsistenz
- Einfachheit der Nutzung	- Realitätsnähe
- Einsatzfähigkeit	- Robustheit
- Konsistenz	- Sprach-Angemessenheit
- Vollständigkeit	- Systematischer Entwurf
	- Übersichtlichkeit
	- Wirtschaftlichkeit
	- Vergleichbarkeit
	- Vollständigkeit

Tabelle 79: Evaluationskriterien-Beispiele für Methoden- und Modell-Artefakte

(March und Smith 1995, S. 261; Pfeiffer und Niehaves 2005, o. S.)

Eine Besprechung in der Literatur, welche dieser Kriterien in welcher Weise für Reifegradmodelle notwendig bzw. sinnvoll sind fehlt jedoch. Daher wird im Folgenden nur auf die durch die Vorgehensmodelle der Reifegradmodellierung vorgeschlagenen Kriterien der *Content* (Vollständigkeit der Domänenrepräsentation) und *Face Validity* (korrekte Übersetzung der Konstrukte) fokussiert. Zumindest die Face Validity lässt sich dabei eindeutig den Evaluationskriterien für Modelle zuordnen (siehe Tabelle 79). Die Content Validity wiederum kann in beiden Evaluationskriterien der Artefakttypen wiedergefunden werden.

7.1.4 Schritt 4: Entwurf der Evaluationsepisoden

Als letzter Schritt des FEDS-Frameworks ist die Ausgestaltung der Evaluationsepisoden auf Grundlage der zuvor festgelegten Schritte vorgesehen. VENABLE ET AL. (2016, S. 84) geben hier aufgrund der Diversität dieses Schrittes in der praktischen Ausgestaltung jedoch nur eingeschränkt Hilfestellung. Die Autoren weisen allerdings nochmal darauf hin, die entsprechenden Umgebungsbedingungen der Evaluation zu berücksichtigen, Prioritäten bzgl. der Kontextfaktoren zu vergeben und einen Plan zu erstellen, wie viele Episoden notwendig sind und wann auf welche Weise bzw. durch wen diese durchgeführt werden sollen.

Episode	Zeitpunkt	Beschreibung (Was, Warum)	Input und Output (Beispiele)	Evaluationskriterien (Beispiele)	Evaluationsmethoden (Beispiele)
Eval1	Ex ante	Evaluation des identifizierten Forschungsproblems/-lücke zur Sicherstellung, dass ein bedeutungsvolles Problem identifiziert und formuliert wurde.	<i>Input:</i> Problembeschreibung, Forschungsbedarf, Design Theory, etc. <i>Output:</i> Begründete Problem-beschreibung, Design Ziele, Forschungslücke	<ul style="list-style-type: none"> - Applicability - (economic) Feasibility - Importance - Novelty - Suitability 	<ul style="list-style-type: none"> - Literaturstudie - Experteninterview - Fokusgruppe - Review von Praxisinitiativen - Umfrage
Eval2	Ex ante	Evaluation der Design-Aktivität, um zu zeigen, dass das zu entwerfende Artefakt die Lösung für das identifizierte Problem darstellt.	<i>Input:</i> Design Spezifikation, Ziele, Stakeholders, Tool, Methodologie <i>Output:</i> Validierte Design Spezifikation, Begründetes Design Tool, Methodologie	<ul style="list-style-type: none"> - Feasibility - Accessibility - Understandability - Clarity - Simplicity - Elegance - Completeness - Level of Detail - Internal Consistency - Applicability - Operationality 	<p><i>Nur künstliche Methoden:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - Mathematischer Beweis - Logisches Denken - Demonstration - Simulation - Benchmarking - Umfrage/Experteninterview - Fokusgruppe
Eval3	Ex post	Evaluation des Artefakts, um zu zeigen wie gut die Performanz des Artefakts bei der Interaktion mit den organisationalen Elementen ist und das Ableiten erster Folgerungen zur Nützlichkeit des Artefakts.	<i>Input:</i> Artefakt-Instanz (Prototyp) <i>Output:</i> Validierte Artefakt-Instanz in einem künstlichen Setting (Beweis der Anwendbarkeit)	<ul style="list-style-type: none"> - Feasibility, - Ease of Use, - Effectiveness, - Efficiency, - Fidelity with Real World Phenomenon - Operationality - Robustness - Suitability 	<ul style="list-style-type: none"> - Prototyp-Demonstration - Prototyp- oder System-Experiment - Benchmarking - Umfrage - Experteninterview - Fokusgruppe
Eval4	Ex post	Evaluation des Artefakts, um zu demonstrieren, dass das Artefakt sowohl anwendbar in der Praxis als auch nützlich für die Praxis ist.	<i>Input:</i> Artefakt-Instanz <i>Output:</i> Validierte Artefakt-Instanz in einem naturalistischen Setting (Beweis der Nützlichkeit)	<ul style="list-style-type: none"> - Applicability - Effectiveness - Efficiency - Fidelity with Real World Phenomenon - Generality - Impact on Artifact Environment and User - Internal / External Consistency 	<p><i>Nur naturalistische Methoden:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - Fallstudie - Feldexperiment - Umfrage/Experteninterview - Fokusgruppe

Tabelle 80: Typische Evaluationsepisoden der Design Science Research

Quelle: in Anlehnung an SONNENBERG UND VOM BROCKE (2012a, S. 76-79; 2012b, S. 393-394)

Als ergänzende Hilfestellung können jedoch die von SONNENBERG UND VOM BROCKE (2012a, S. 76–79) bzw. SONNENBERG UND VOM BROCKE (2012b, S. 391–396) identifizieren vier (aufeinanderfolgenden) Design-Science-Research-Evaluationsaktivitäten herangezogen werden. Diese können auch als Evaluationsepisoden verstanden werden, da definiert wird *Wann, Was, Warum, Wie* evaluiert werden sollte (siehe Tabelle 80). Die Beschreibungen jeder Aktivität/Episode werden dabei durch zugehörige Evaluationskriterien und Evaluationsmethoden ergänzt. Dies ermöglicht einen Abgleich mit den bereits festgelegten Parametern und Schritten.

Zu berücksichtigen ist jedoch, dass intermediäre Evaluationsepisoden in den Aktivitäten nach SONNENBERG UND VOM BROCKE (2012a, S. 76–79) bzw. SONNENBERG UND VOM BROCKE (2012b, S. 391–396) nicht enthalten sind und dementsprechend eine Teilevaluation während der Entwicklung des Modells nicht angedacht ist (siehe hierzu auch die Ausführungen zu den Parametern der Evaluation in Kapitel 5.2.6).

Für alle in der vorliegenden Arbeit durchgeführten und dokumentierten Episoden können dabei die folgenden übergreifende Evaluationsparameter (siehe Kapitel 5.2.6 und insbesondere Tabelle 45 mit Übersicht der Parameter) festgehalten werden:

Die Evaluationen werden von einer internen **Position** (Modellentwickler) durchgeführt und stellen vom **Referenzpunkt** ausgehend eine Testung des Artefakts gegen die Forschungslücke dar, da nur eine Evaluation mit künstlichen Methoden gegen vorabdefinierte Kriterien stattfindet (Cleven et al. 2009, o. S.).

Der **Artefakt-Fokus** (*technisch, unternehmerisch, strategisch*) des Modells tangiert alle drei Ebenen der Unternehmenstransformation, da das DPMM bei der Transformation des Unternehmens auf technischer Ebene, Unternehmensebene und strategischer Ebene wirkt (Cleven et al. 2009, o. S.).

Ebenfalls tangiert die Evaluation des DPMM fast alle **Funktionen der Evaluation** (*Erkenntnis, Kontrolle, Entwicklung, Legitimierung*). Anhand der zuvor festgelegten zu evaluierenden Eigenschaften wird das Modell hinsichtlich seiner Erfüllung von Rigor, Content Validity oder Face Validity überprüft (Kontrollorientierte Evaluation). Die hierbei gewonnenen Erkenntnisse (Erkenntnisorientierte Evaluation) fördern wiederum u. a. die Weiterentwicklung des Modells (Entwicklungsorientierte Evaluation). Weniger im Fokus steht dabei allerdings die Legitimierung des Artefakts durch die Evaluation. Allerdings können die Motivation und Problembeschreibung dieser Arbeit sowie die Analyse und der Vergleich bestehender Reifegradmodelle als eine ex-ante durchgeführte Legitimierung verstanden werden. Die

in diesem Kapitel durchgeführte Demonstration stellt dementsprechend eine gewisse ex-post Legitimierung dar (Cleven et al. 2009, o. S.; Stockmann 2006, S. 66–68).

Die **Perspektive**, die bei der Evaluation eingenommen wird, ist dabei am ehesten der Engineering-Perspektive zuzuordnen, da der Anwendungsdomänen-Einsatz und die Zielerfüllung betrachtet werden (siehe Tabelle 81).

Perspektive	Beschreibung
Ökonomische Perspektive	Die Perspektive befasst sich mit der Diskussion von Kriterien, die für eine Beurteilung von Kosten und Vorteilen in Bezug zum Modell relevant sind.
Deployment-Perspektive	Die Perspektive befasst sich mit Kriterien, die für diejenigen relevant sind, die mit dem Modell arbeiten (z. B. Verständlichkeit, Kompatibilität mit anderen Repräsentationen, Verfügbarkeit von Werkzeugen).
Epistemologische Perspektive	Die Perspektive evaluiert Modelle als Ergebnis wissenschaftlicher Forschung und fokussiert dabei auf Kriterien, die sich mit der Evaluierung wissenschaftlicher Theorien befassen.
Engineering-Perspektive	Die Perspektive zielt auf die Evaluierung von Modellen als Design-Artefakt zur Beantwortung der folgenden Fragen ab: <ol style="list-style-type: none"> 1. Erfüllt das Modell, die in Betracht kommenden Anforderungen; 2. Ist die Spezifikation für die angedachten Zwecke des Modells geeignet.

Tabelle 81: Evaluationsperspektiven

(Frank 2007b, S. 123–136; Cleven et al. 2009, o. S.)

Darauf aufbauend lassen sich demnach für diese Arbeit die nachfolgend skizzierten Episoden identifizieren, die in Tabelle 82 am Ende dieses Abschnitts zusammengefasst sind.

Evaluationsepisode 0: Notwendigkeit des Forschungsvorhabens

Episode 0 stellt eine ex-ante Evaluation des identifizierten Forschungsproblems zur Sicherstellung der Problembedeutung (für Forschung und Praxis) dar. Mithilfe von Literaturanalysen kann dabei die Notwendigkeit des Forschungsvorhabens durch Identifizierung der Forschungslücke begründet werden. Dies entspricht der Eval1-Episode der generellen Design-Science-Research-Evaluationsepisoden (siehe Tabelle 80).

Die Episode ist dabei weder formativ noch summativ, da kein Artefakt im eigentlich Sinne evaluiert wird. Dadurch kann weder eine Artefakt-Verbesserung erzielt noch eine Einsatzfähigkeit des Artefakts überprüft werden.

Der Episode 0 werden die bereits durchgeführten Literaturanalysen der folgenden Kapitel zugeordnet:

- Kapitel 1: Motivation und Problemstellung,
- Kapitel 3.4: Identifizierung von Herausforderungen digitalisierter Produkte

- Kapitel 5.1: die Analyse und der Vergleich vorhandener Reifegradmodelle

Die Evaluationsepisode gilt somit als bereits abgeschlossen.

Evaluationsepisode 1: Zwischenevaluation der Gestaltungsbereiche

Die Evaluationsepisode 1 stellt eine intermediäre Evaluation des Reifegradmodells dar und kommt damit der Forderung von BECKER ET AL. (2009, S. 255) in Bezug auf eine Zwischenevaluation der Modellbereiche nach.

Hierbei werden die Herausforderungen digitalisierter Produkte aus Kapitel 3.4 mit den Gestaltungszielen des DPMM abgeglichen, um etwaige Lücken zu identifizieren. Dadurch kann die Vollständigkeit des Modellinhalts auf Gestaltungsziel-Ebene (*Content Validity*) mittels einer künstlichen, qualitativ-argumentativen Methode durch die Modellentwickler evaluiert werden.

Da dies zur Verbesserung des Modells beiträgt, kann die Episode als formative Evaluation eingeordnet werden. Gleichzeitig kann dadurch auch gezeigt werden, dass das Modell eine Lösung für die Praxisherausforderungen darstellt und damit in Teilen die Eval2-Episode mitabdecken (siehe Tabelle 80).

Nachteile des Vorgehens bestehen dabei in der etwaigen Subjektivität/Bias des Modellerstellers bei der Argumentation und dem Abgleich der Herausforderungen mit den Gestaltungszielen, insbesondere aufgrund des nicht-nummerischen Inhalts. Darüber hinaus basieren die ermittelten Herausforderungen auf einer Literatursuche, bei der ggf. nicht alle Herausforderungen aller Domänen digitalisierter Produkte ermittelt wurden und damit die Liste der Herausforderungen unvollständig ist.

Da die Gestaltungsziele jedoch auf teils etablierten Modellen verschiedener Domänen basieren und die Herausforderungen ein breites Spektrum abbilden, sollten diese Nachteile vernachlässigbar sein und das Modell nicht negativ einschränken.

Die Evaluationsepisode 1 wurde bereits im Rahmen der Ausgestaltung des DPMM als intermediäre Evaluation in Kapitel 6.2 durchgeführt und gilt damit als abgeschlossen. Die daraus entstandenen Modellverbesserungen für das DPMM wurden in die abschließende Modellversion der vorliegenden Arbeit in Anhang B eingepflegt.

Evaluationsepisode 2: Modellevaluation

Durch die Evaluationsepisode 1 kann die Vollständigkeit des Modellinhalts teilevaluiert werden. Nicht betroffen durch die Evaluationsepisode sind jedoch die Reifegrade. Offen bleiben dadurch die Sicherstellung der Wirksamkeit des Modells, die Face Validity und Teile der Content Validity.

Um einem weiteren Teil der notwendig zu evaluierenden Aspekte zu begegnen wird im Rahmen der zweiten Evaluationsepisode mit einem *illustrativen Szenario* gearbeitet. Das illustrative Szenario stellt die Anwendung eines Artefakts in einem künstlichen oder realen Szenario mit dem Ziel die Eignung oder Nützlichkeit des Artefakts zu illustrieren dar (Peppers et al. 2012, S. 402). Die Methode gehört, wie auch die Methode des *Informed Argument*, zu den beschreibenden Evaluationsmethoden. Diese eignen sich für besonders innovative Artefakte und werden eingesetzt, wenn andere Arten der Evaluation nicht möglich sind (Hevner et al. 2004, S. 86).

Im Rahmen dieser Arbeit wird allerdings kein eigenes Szenario entwickelt, sondern verschiedene reale Fallstudien unterschiedlicher Anwendungsdomänen digitalisierter Produkte als Szenarien herangezogen und mit dem DPMM abgeglichen. Da diese Fallstudien nicht für das Modell im eigentlichen Sinne entwickelt wurden, werden diese auch nur unvollständige Informationen zur Verfügung stellen. Dadurch wird keine vollständige Einordnung ermöglicht und nur Teilbereiche des Reifegradmodells adressiert. Um diese Nachteile auszugleichen, werden multiple Fallstudien herangezogen und anhand vorab definierter Leitfragen miteinander abgeglichen.

Die Methode ermöglicht auch einen ersten Anwendungstest des DPMM, wodurch sowohl Probleme der Anwendung (*Rigor: Face Validity, Design-Risks, Use Risks*) als auch Inhaltslücken im Modell aufgezeigt werden können (*Rigor: Content Validity*). Durch den Anwendungstest kann ebenfalls demonstriert werden, wie mit Hilfe des DPMM Verbesserungspotential für Unternehmen und dadurch die potentielle Wirksamkeit aufgezeigt werden (*Rigor: Wirksamkeit*). Somit wird durch die Methode eine *formative Evaluation* ermöglicht.

Ein weiterer Vorteil des Vorgehens erlaubt die Anwendung des DPMM nicht nur in Domänen der zusammengeführten Reifegradmodelle, sondern auch die Anwendung auf andere Anwendungsdomänen digitalisierter Produkte (*summative Evaluation*) und damit ein erster Test der Anwendbarkeit und Demonstration der Nützlichkeit für diese Domänen.

Die Episode entspricht dabei der Eval3-Episode der generellen Design-Science-Research-Evaluationsepisoden (siehe Tabelle 80) und wird im Anschluss an die Festlegung der Evaluationsstrategie im Rahmen dieses Kapitels durchgeführt.

Zukünftige Evaluationsepisoden

Zukünftige Episoden sollen die noch offenen Evaluationsaspekte (*Rigor: Effektivität, Design, Social/Use Risks, ethische Aspekte*) adressieren. Hierbei sollten vor

allem naturalistische (und summative) Evaluationsepisode(n) favorisiert werden. Neben dem Modell selbst sollten dabei auch die Umsetzungsgrade als Assessment-Instrument evaluiert werden. Dies entspricht der Eval4-Episode der generellen Design-Science-Research-Evaluationsepisoden (siehe Tabelle 80).

Eine dafür notwendige Anzahl an Evaluationsepisoden lässt sich zu diesem Zeitpunkt der Entwicklung schwer festlegen, da die hierfür zur Verfügung stehenden Ressourcen derzeit unbekannt sind und damit keine Wahl hinsichtlich der Evaluationsmethoden möglich ist. Allgemein zu empfehlen wäre jedoch die Anwendung des Modells in mehr als einem realen Setting, z. B. mittels einer Fallstudienanalyse oder Feldexperiment, um die Anwendung in verschiedenen Anwendungsdomänen (insb. auch in Domänen ohne bisheriges Modell) zu evaluieren. Ergänzend könnten dann Experteninterviews, vorzugsweise aus weiteren Anwendungsdomänen, die Ergebnisse sinnvoll ergänzen.

Als Alternative oder Ergänzung könnte das DPMM, wie von BECKER ET AL. (2009, S. 258) vorgeschlagen, als webbasierte Anwendung online zur Verfügung gestellt werden. Dadurch erhielten Unternehmen oder öffentliche Einrichtungen die Möglichkeit, selbstständig eine Reifegradermittlung durchzuführen. Die hierdurch entstehenden Nutzungsdaten erlauben es, die empirische Basis zur Modellevaluation auszuweiten. So erlaubt dies z. B. einen Überblick der Verteilung der einzelnen Reifegradstufen hinsichtlich Unternehmen bzw. Anwendungsdomänen. Darüber hinaus kann ein solches Vorgehen die Modellakzeptanz verbessern und Hinweise auf Verbesserungspotentiale geben (Becker et al. 2009, S. 258).

	Episode 0	Episode 1	Episode 2	Zukünftig
Zeitpunkt	Ex-ante	Intermediär	Ex-Post	Ex-Post
Evaluationstyp	-	Formativ	Formativ und summativ	Formativ und summativ
Methodentyp	Künstlich: Literaturanalysen	Künstlich: Abgleich Modell mit Herausforderungen	Künstlich: Illustratives Szenario	Naturalistisch: z. B. Fallstudien, Feldexperimente
Betrachtete Kriterien	Importance	Content Validity	- Content & Face Validity - Wirksamkeit - Durchführbarkeit - Einfachheit der Nutzung	- Face und Content Validity, - Ease of Use, - Wirksamkeit, - etc.
Ziele	Begründung (Belegung der Forschungslücke)	- Rigor, - Effizienz	- Rigor - Effizienz - Risiko-Reduktion	- Rigor - Ethik - Risiko-Reduktion

Tabelle 82: Übersicht Evaluationsepisoden dieser Arbeit

7.2 Zielstellung und Durchführung der Fallstudien-Evaluation

Im vorliegenden Kapitel wird die Evaluationsepisode 2 der Evaluationsstrategie dieser Arbeit durchgeführt (siehe Kapitel 7.1). Hierfür erfolgt der Abgleich des entwickelten Modells dieser Arbeit mit verschiedenen ausgewählten Fallstudien.

Für die Erfüllung der für die Evaluationsepisode festgelegten Evaluationsziele (Rigor, Risiko-Reduktion, Effizienz) zur Abdeckung der zu evaluierenden Parameter (Content Validity, Face Validity, Wirksamkeit, Einfachheit der Nutzung, Durchführbarkeit) wurden für den Abgleich die in Tabelle 83 gelisteten Leitfragen entwickelt.

	Rigor			Risiko-Reduktion	
	Face Validity	Content Validity	Wirksamkeit	Einfachheit der Nutzung	Durchführbarkeit
Leitfragen:					
1. Welche Gestaltungsziele und -bereiche wurden im jeweiligen Fallbeispiel adressiert?	X	X		X	X
2. Welcher Reifegrad wurde vermutlich in dem geschilderten Projekt erzielt?			X	X	X
3. Werden die im Fallbeispiel genannten Herausforderungen durch das Reifegradmodell abgedeckt?	X	X	X	X	X
4. Was für Empfehlungen können sich aus dem Reifegradmodell für das Fallbeispiel ableiten?			X		
5. Welche Erkenntnisse lassen sich aus dem geschilderten Projekt für die Weiterentwicklung des Reifegradmodells ableiten?	X	X	X	X	X

Tabelle 83: Leitfragen der Fallstudien-Evaluation

Die zu überprüfende *inhaltliche Vollständigkeit* (Face und Content Validity) des Reifegradmodells wird dabei durch die erste und dritte Frage sichergestellt. Die (*teilweise*) *Anwendbarkeit* (Risiko-Reduktion) des DPMM wiederum durch die erste, zweite und dritte Frage erprobt und die *Nützlichkeit* (Wirksamkeit) des DPMM durch die zweite, dritte und vierte Frage geprüft. Mögliche weitere Erkenntnisse hinsichtlich der *Modellweiterentwicklung* werden durch die fünfte Frage gesammelt ermittelt.

Die untersuchten Fallstudien wurden dabei nach den folgenden beiden Kriterien ausgewählt:

1. Die Fallstudien sollen möglichst umfangreich ein Fallbeispiel aus einer Anwendungsdomäne digitalisierter Produkte beschreiben.
2. Die Fallstudien sollen nach Möglichkeiten bzw. Verfügbarkeit aus Anwendungsdomänen stammen, die nicht bereits durch die Quell-Reifegradmodelle (Manufacturing, Tourism, Smart City, Smart Energy) repräsentiert sind.

Die Tabelle 84 gibt einen Überblick über die nach diesen Kriterien identifizierten und ausgewählten Fallstudien für die Evaluation.

	Unternehmen/ Einrichtung	Anwendungs- domäne(n)	Projektart	Quelle
Fallstudie 1	Schweizerische Post	Smart Logistic/ Mobility (B2B und B2C)	Multiple Projekte	(Pletscher et al. 2016)
Fallstudie 2	Deutscher Hersteller für Materialtransporteinrichtungen	Manufacturing/ Smart Logistic (B2C)	Singuläre Produktneuentwicklung als Pilotprojekt	(Holler et al. 2018)
Fallstudie 3	Gold Coast City Council (Australien)	Smart City	Multiple Projekte	(Khanjanasthiti et al. 2021)

Tabelle 84: Übersicht über die genutzten Fallstudien für die Evaluation des Reifegradmodells dieser Arbeit

Dabei handelt es sich bei Fallstudie 1 um ein Unternehmen mit öffentlichen Auftrag (Schweizerische Post), bei Fallstudie 2 um ein privates Produktionsunternehmen (Deutscher Hersteller für Materialtransporteinrichtungen) und bei Fallstudie 3 um eine öffentliche Einrichtung (Gold Coast City Council). Dadurch werden bei der Evaluation die Anwendungsdomänen Smart Logistic, Mobility, Manufacturing und Smart City abgedeckt.

Fallstudie 1 und 3 bestehen darüber hinaus aus einer Kombination vieler Teilprojekte, während Fallstudie 2 eine singuläre Produktentwicklung beschreibt. Durch die Kombination dieser drei Fallstudien kann somit ein breites Spektrum an Szenarien und Perspektiven der digitalisierten Produktentwicklung in verschiedenen Anwendungsdomänen abgedeckt werden.

7.2.1 Fallstudie 1: Schweizerische Post

Das Fallbeispiel von PLETSCHER ET AL. (2016) skizziert verschiedene Projekte der schweizerischen Post, bei denen *„traditionelle physische Dienstleistungen mit digitalen Komponenten an[ge]reichert [werden]“* und *„Kerngeschäftstätigkeiten rein digital erbracht werden können“* (Pletscher et al. 2016, S. 170).

Dabei fokussieren sich die genannten Beispiele auf die Bereiche E-Commerce, Logistik und Mobilität im weiteren Kontext einer Smart City und beschreiben hierfür

verschiedene Anwendungsfälle. Hierfür werden Fahrzeuge des Unternehmens mit Internetkonnektivität und Rechenkapazität ausgerüstet oder die Wertschöpfungskette im E-Commerce-Bereich zum Aufbau einer Smart Factory in Kombination mit Smart Logistics ganzheitlich übernommen. Weitere Ergänzungen des bisherigen Portfolios der schweizerischen Post sind darüber hinaus die Verbesserung und Flexibilisierung der Paketzustellung durch intelligentes Routing, der Einsatz mobiler Technologien (wie Drohnen und Lieferroboter), die Verbesserung der Mobilität (z. B. durch Smart Shuttles), die Ausgestaltung verschiedener weitere Sharing-Konzepte und der Aufbau einer Mobilitätsplattform zur Abdeckung der gesamten Reisekette (Pletscher et al. 2016).

Die Heterogenität der Projekt resultiert aus den drei Konzerngesellschaften, aus denen die schweizerische Post besteht (Pletscher et al. 2016, S. 169):

- die Post CH AG bedient dabei den schweizerischen Kommunikations- und Logistikmarkt,
- die Post Finance fungiert als systemrelevante Bank und
- die PostAuto Schweiz AG ist ein Anbieter im Bereich Personenverkehr

Dementsprechend liegen die Schwerpunkte der Projekte in den Bereichen: „*E-Commerce, E-Post, Mobilitätslösungen, digitale Finanzdienstleistungen, Direct Marketing und Business Process Outsourcing*“ (Pletscher et al. 2016, S. 170).

Zum Zeitpunkt der Veröffentlichung des Literaturbeitrags sind einige Projekte noch in den ersten Pilottestphasen, um die Grenzen und Möglichkeiten der entsprechenden Technologien auszuloten, während andere Projekte bereits in Teilen oder vollständig im Praxisbetrieb sind.

Frage 1: Welche Gestaltungsziele und Gestaltungsbereiche wurden im jeweiligen Fallbeispiel adressiert?

In Tabelle 85 findet sich eine Übersicht der identifizierten Gestaltungsziele, die im Fallbeispiel (in Teilen) angesprochen werden, sowie die Zuordnung zu den jeweiligen Gestaltungsbereichen. Mit ‚ganzer Studie‘ wurden dabei die Gestaltungsziele markiert, die über alle Beispiele der gesamten Fallstudie immer wieder angeführt wurden, sodass eine Auflistung einzelner Seiten nicht zielführend war.

Die Studie tangierte demnach viele der Gestaltungsbereiche und alle Gestaltungsdimensionen des DPMM. Am meisten Gestaltungsziele konnten dabei für die Gestaltungsbereiche *Product IT Architecture* und *Intra- und Cross-company Collaboration* identifiziert werden, da die Projektebeschreibung ihren Fokus auf die Zusammenarbeit, z. B. mit Universitäten, und technologischen Aspekten der Projekte gesetzt hatte.

Gestaltungsbereiche und -ziele	Pletscher et al. (2016)
Strategy Development	
1.1.1 Strategieentwicklung	S. 170, 172
1.1.8 Marktanalyse	S. 177
Funding and Investment	
1.2.9 Interne Investitionsobjekte	Ganze Studie
1.2.14 Proof-of-Concept-Projekte	Ganze Studie
Business Models	
1.3.10 Ressourcen-Prüfung	S. 171
Organizational Structure and Culture	
2.1.3 Innovationskultur etablieren	S. 172
Leadership	
3.1.2 Produkt/Projekt-Unterstützung	S. 172
Intra- und Cross-company Collaboration	
3.2.1 Abteilungsübergreifende Zusammenarbeit	S. 174
3.2.4 Partnerschaften gestalten	S. 172-172, 176
3.2.5 Kollaboration mit anderen Führungskräften	S. 173
3.2.6 Branchenübergreifende Gruppen	S. 172
3.2.7 Neue Formen der Kollaboration	S. 172-173, 175-176
Stakeholder Collaboration	
3.3.1 Gemeinsame Entwicklung mit den Stakeholdern	(S. 172)
3.3.2 Entwicklung von Stakeholder-Ökosystemen	S. 171-173 größtenteils noch in Planung
Processes in General	
4.1.4 Automatisierung und Integration von Prozessen	S. 176
4.1.6 Value-Chain neu definieren	S. 174
Procurement, Sales, Services and Operation	
4.2.1 Sales und Services digitalisieren	S. 176-177
Development and Manufacturing	
4.3.1 Anforderungen der Kunden sind dokumentiert	Verschiedene Anforderungen finden überall in der Studie Erwähnung, sind also bekannt
4.3.8 Produkt-Simulationen vorhanden	S. 177
4.3.10 Testing (Pilot-Projekte, Demonstrationen)	S. 177-178, 180
4.3.11 Pilot-Kollaborations-Projekte etabliert	S. 176
Asset Management	
4.4.1 Übergreifender Asseinsatz	S. 174-175
4.4.2 Verbundene Assets (z. B. Sensoren) für System-of-Systems und Echtzeit-Informationen	S. 171, 173, 175, 177, 180
IT Architecture	
5.1.2 Moderne IT wird eingesetzt	S. 175, 177-180

Gestaltungsbereiche und -ziele	Pletscher et al. (2016)
5.1.5 Awareness, Echtzeit-Überwachung und -steuerung	S. 182
5.1.11 Skalierbare und intuitive IT-Infrastruktur	S. 171-175
Department Systems	
5.2.5 Automatisierte Produktion	S. 175
Communications and Networks	
5.3.6 Breitbandinfrastruktur	S. 171, 175, 179
5.3.8 Produkt-Kommunikation	Je nach Projekt vorhanden
5.3.9 M2M-Kommunikation	Je nach Projekt vorhanden
5.3.12 Multiple Kanäle für Nutzer-Kommunikation	Ganze Studie
Product IT Architecture	
6.1.1 Plattform für Produkte und Cloud-Anwendungen	S. 181-182
6.1.3 Produktintegration in andere Systeme	Ganze Studie
6.1.5 Spitzentechnologie wird eingesetzt	S. 175, 177-180
6.1.9 Nutzer-Infrastruktur vorhanden	S. 179
6.1.10 Ressourcen-Einschränkungen werden berücksichtigt	S. 177
Service Design	
6.2.2 Innovative Kundenprodukte verfügbar	S. 177-181
6.2.7 Unternehmensübergreifende Services werden angeboten	S. 174-177
6.2.9 Produktindividualisierung möglich	S. 174
6.2.10 Nachhaltige Service werden angeboten	S. 177, 180-182
Data and AI	
6.3.1 Datensammlung und -speicherung durch die Produkte	Ganze Studie
Data Acquisition and Integration	
7.1.9 Innovative Ansätze für Datensammlung umgesetzt	S. 181
Data Analysis and Application	
7.2.1 Echtzeitdaten-Analysen	S. 177
7.2.4 Service-Verbesserung (dynamisch, automatisiert, vorausschauend, vorsorglich)	S. 181
7.2.6 Prozess-Verbesserung durch operative Daten	S. 177
7.2.8 Support-Prozess-Optimierung (Predictive Modeling, Fast-Echtzeit-Simulationen)	S. 177
7.2.11 Echtzeit-Event-Reaktionen nichtvorhersehbarer Events	S. 171

Tabelle 85: Identifizierte Gestaltungsbereiche und -ziele der Fallstudie 1

Für sechs Gestaltungsbereiche (*Governance Model, Organizational Role, Skill Development, Data Sharing, Security and Privacy*) konnten keine Informationen zu umgesetzten Gestaltungszielen im Text identifiziert werden. Bei einigen Bereichen

bzw. Gestaltungszielen kann allerdings angenommen werden, dass diese nicht im Text erwähnt, aber durchaus vorhanden sind: So werden im Text bspw. keine Informationen zur Finanzierung der Projekte dargereicht, während diese aber vorhanden sein muss.

Für andere Gestaltungsziele/-bereiche ist eine solche Einschätzung schwieriger vorzunehmen: So werden im Text keine Angaben zu etwaigen Ansätzen und Projekten zu Open Data gemacht oder wie Kunden bzw. Nutzer in die Projekte, vor allem in die geforderte Strategie- und Produkt-Entwicklung, miteinbezogen werden. Beides wäre aber zu erwarten, da es sich um ein Unternehmen mit Grundversorgungsauftrag handelt, viele Projekte die Endkunden betreffen, verschiedenen Kooperationen (u. a. mit Universitäten) stattfinden und innovative Projekte vorangetrieben werden, bei denen sogar Aspekte wie Cognitive Computing angedacht sind (Pletscher et al. 2016, S. 171-173 und 175–182).

Betrachtet man die zugrunde liegenden Anwendungsdomänen der Gestaltungsziele, so ist festzustellen, dass die meisten der identifizierten Gestaltungsziele aus den Manufacturing- und Smart-City-Domänen sowie in großen Teilen aus der Energy-Domäne entstammen. Zwei Gestaltungsziele finden sich auch in der Tourism-Domäne und zwei Gestaltungsziele entstammen aus der Evaluation mit den Herausforderungen. Im Gegensatz dazu wurde das Fallbeispiel von den Autoren selbst in die Domänen Logistic und Mobility sowie in Teilen in die Domänen Smart City und Tourism verordnet.

Es handelt sich also bereits im Ursprung um ein Anwendungsdomänen-übergreifendes Gesamtprojekt. Dennoch deckten die Gestaltungsziele originär aus den Domänen Logistic, Mobility und Smart City nicht alle identifizierten Aspekte des Fallbeispiels ab. Ein großer Teil der identifizierten Gestaltungsziele entstammte der Manufacturing-Domäne. Ebenso konnten Ziel der Energy-Domäne identifiziert werden.

Die alleinige Anwendung der domänenspezifischen Anwendungsmodelle hätte dementsprechend nicht alle Aspekte des Fallbeispiels abdecken können bzw. die Gestaltungsziele lassen sich folglich auf verschiedene Domänen übertragen.

Frage 2: *Welcher Reifegrad wurde vermutlich in dem geschilderten Projekt erzielt?*

Betrachtet man die zugehörigen Reifegrade der umgesetzten Gestaltungsziele, zeigt sich kein eindeutiges Bild: Die meisten Ziele sind dem zweiten (Smart, connected Product) und vierten Reifegrad (Product System) zugeordnet, der Rest verteilt sich weitestgehend gleichmäßig auf die übrigen Reifegrade. Dies spiegelt den unterschiedlichen Fortschritt und die unterschiedliche Art der Projekte des

Unternehmens wieder. Die Projekte scheinen dabei gleichzeitig wenig miteinander verknüpft sind. Es wirkt daher, als gäbe es kein übergeordnetes Gesamtkonzept.

Das Fallbeispiel deutet daher lediglich daraufhin, dass das Unternehmen mit all seinen einzelnen Projekten als Ganzes betrachtet den vierten Reifegrad (*Product Systems*) anstreben würde. So werden Beispiele für Plattform-basierte Lösungen als Angebotspakete angedeutet, Kooperationen mit verschiedenen Partnern beschrieben und in Big-Data-Anwendungen investiert.

Der vierte Reifegrad zeichnet sich allerdings auch durch den Einsatz der künstlichen Intelligenz aus. Dieser wird in den Projekten nur vereinzelt durch die dort verwendeten Technologien wie autonome Fahrzeuge angedeutet. Ein wirklich umfassender KI-Einsatz außerhalb der noch nicht in der Praxis eingeführten Pilotprojekte wird nicht beschrieben. Offen bleibt auch, wie die Kooperation mit Partnern hinsichtlich Integration der Systeme oder gemeinsamer Finanzierungen aussieht.

Für den darauf aufbauenden fünften Reifegrad (*System-of-Systems*) wurden verschiedene nachhaltige Konzepte und Ansätze beschrieben. Hier fehlen aber z. B. Bestrebungen für Open-Data- und Innovations-Ansätze.

Eine eindeutige Einschätzung des Fallbeispiels als Gesamtes lässt sich somit aufgrund der fehlenden Informationen und Vielzahl an kleinen Projektbeschreibungen an dieser Stelle nicht durchführen.

Frage 3: *Werden die im Fallbeispiel genannten Herausforderungen durch das Reifegradmodell abgedeckt?*

Das Fallbeispiel nennt nur vereinzelte Herausforderungen für einige ausgewählte Projekte. Es werden keine Herausforderungen aus ganzheitlicher Sicht über alle Projekte hinweg berichtet. Die genannten Herausforderungen zielen dabei auf die *Unreife der genutzten innovativen Technologien* (Drohnen, Roboter, autonomes Fahren) ab und damit verbunden verschiedene *rechtliche Rahmenbedingungen* (z. B. Datenschutz) (Pletscher et al. 2016, S. 177–180).

Das DPMM deckt diese Aspekte auf verschiedene Weise ab. So wird in Bezug auf die rechtlichen Rahmenbedingung gefordert, dass die Strategie mit den Stakeholdern aus den unterschiedlichen Bereichen des Ökosystems gemeinsam entwickelt wird (1.1.4) und mit nationalen, regionalen und lokalen Interessen abgeglichen ist (1.1.5). Dadurch sollten erste rechtliche Rahmenbedingungen abgeklärt sein.

Darüber hinaus wird durch das DPMM ein Governance-Modell gefordert, das ebenfalls Aspekte wie die Klärung von Eigentümerschaft und Urheberrechten (2.2.6)

enthält und dadurch beiträgt, die rechtlichen Rahmenbedingungen weiter zu klären. In Bezug auf die speziellen Probleme wie den genannten Datenschutz stellt das DPMM zahlreiche Gestaltungsziele im Gestaltungsbereich Security and Privacy (7.4) zur Verfügung.

Das Ausloten der Möglichkeiten und Grenzen innovativer bzw. unreifer Technologien wird durch die Forderung der Etablierung eines Technologieevaluations- und Technologieauswahlprozesses (4.3.3) begegnet. Ebenso im DPMM enthalten ist die Forderung nach einem formalen Prozesses zur Identifizierung neuer digitaler Technologien, die in einem iterativen und agilen Verfahren eingeführt werden sollen (4.3.6). Den Herausforderungen wird demnach durch strukturierte Prozesse begegnet, wenngleich dadurch inhärente Probleme innovativer Technologien nicht grundsätzlich gelöst werden können.

Frage 4: *Was für Empfehlungen können sich aus dem Reifegradmodell für das Fallbeispiel ableiten?*

Im Folgenden werden einige Beispiel-Ansätze zur Verbesserung der Projekte vorgestellt, die aus dem DPMM abgeleitet sind. Zu diesen Ansätzen konnten im Text keine Hinweise gefunden werden, sodass davon ausgegangen wird, dass diese Ansätze noch nicht in der Projektplanung berücksichtigt wurden.

Ein Möglichkeit zur Verbesserung der Projekte wäre die Einführung von Open-Data/Innovations-Konzepten. Diese bieten eine weitere Beteiligungsmöglichkeit für verschiedene Stakeholder und sind langfristig zur Vergrößerung des Angebotssportfolios für einen Systems-of-Systems-Ansatz (Ziel Reifegrad 5) notwendig. Dies tangiert auch die fehlenden Konzepte und Ansätze für eine digitale Inklusion und Möglichkeiten des Engagement (Gestaltungsziele 3.3.3, 3.3.4, 3.3.5), die dazu beitragen können, die Kundenbindung zu stärken und das Angebotsportfolio zu erweitern oder zu verbessern. Dies ist natürlich nicht für alle Projekte der Schweizerischen Post aufgrund etwaigen Datenschutzes möglich. Hier müssen die Möglichkeiten entsprechend je Projekt abgewogen werden. Allerdings fehlen hierzu Detailinformationen der Projekte.

Zur Unterstützung empfiehlt sich darüber hinaus die Etablierung eines zielführenden Skill-Development-Konzepts. Bisher entstehen viele der Projekte in Kooperation mit anderen Unternehmen und Einrichtungen wie Universitäten. Keine Aussagen wurden dabei über die Einbindung und Umsetzung der für die Projekte notwendigen Fähigkeiten der Mitarbeiter, der Führungskräften oder anderen Stakeholdern getroffen (Gestaltungsbereich 3.4).

Ein weiterer Aspekt wäre die Integration der Projekte und Ansätze (Ziel vierter Reifegrad) bzw. deren Verknüpfung zu einem Verbund von unabhängigen Komponentensystemen (Ziel fünfter Reifegrad). In einigen Projekten wurde zwar die Integration innerhalb der Projekte thematisiert (Pletscher et al. 2016, S. 174), die Möglichkeit der übergreifenden Integration bzw. Verknüpfung jedoch nicht. Stattdessen scheint ein Silo-Denken in den Ansätzen vorzuherrschen, was vermutlich aufgrund der Aufteilung des (Dach-)Unternehmens in drei Konzerngesellschaften geschuldet sein mag. Zur Erreichung der Integration bietet das DPMM zahlreiche Gestaltungsziele. Einige Beispiele hierfür sind organisationsübergreifende Strukturen (2.1.9), die Zusammenführung unterschiedlicher Unternehmenskulturen (2.1.10), die Systemintegration (5.1.16) bzw. eine organisationsübergreifende Infrastruktur (5.1.9).

Frage 5: *Welche Erkenntnisse lassen sich aus dem geschilderten Projekt für die Weiterentwicklung des Reifegradmodells ableiten?*

Das Fallbeispiel der Schweizerischen Post konnte keine inhaltlichen Lücken im DPMM aufdecken. Stattdessen zeigte sich, dass das Modell Hilfestellungen für eine Verbesserung der Projekte geben kann, obwohl die Projektbeschreibung nicht für die Evaluation zugeschnitten war und das Unternehmen bereits weit fortgeschritten bei der Entwicklung digitalisierter Produkte ist.

Ebenso zeigte sich, dass das DPMM für die Anwendungsdomänen Smart Logistics und Mobility eingesetzt werden kann, obwohl diese Bereiche nicht Teil der dem Reifegradmodell zugrundeliegenden Anwendungsdomänen waren.

Dennoch erschwerten die fehlenden Informationen eine klare Bewertung des Unternehmens. Dies wurde zusätzlich dadurch erschwert, dass das Unternehmen nicht ein Produkt, sondern multiple Produkte/Projekte gleichzeitig entwickelt. Infolgedessen war nicht eindeutig, ob einige der identifizierten Gestaltungsziele nur für ein Projekt galten oder für alle Projekte gleichermaßen zutraf. Die Einordnung multipler, unabhängiger Projekte/Produkte eines Unternehmens erwies sich also als problematisch für den Einsatz des DPMM.

7.2.2 Fallstudie 2: Deutscher Hersteller für Materialtransporteinrichtungen

Das Fallbeispiel eines deutschen Herstellers für Materialtransporteinrichtungen mit Fokus auf industrielle LKWs und Lagertechnikgeräte (z. B. Gabelstapler) von HOLLER ET AL. (2018) beschreibt die Entwicklung digitalisierter LKWs und ergänzenden datengetriebenen Dienstleistungen über einen Zeitraum von ca. 2,5 Jahren. Das prototypische Proof-of-Concept-Projekt soll dabei die Grundlage für zukünftige

Weiterentwicklungen bzw. die Ausrollung als Serienentwicklung in diesem Bereich bilden. Durch die Kollaboration mit zahlreichen Stakeholdern (Co-Innovation) soll darüber hinaus Wissen für alle Stakeholder in Bezug auf die Gestaltung und den wirksamen Einsatz technologischer Affordanz digitalisierter Industriemaschinen generiert werden.

Die Vision bzw. das Ziel des Projekts ist die Entwicklung digitalisierter LKWs und Gabelstapler als Grundlage für den Aufbau einer Technologie-Plattform für ein zukünftiges Dienstleistungsgeschäft. Hierfür kooperiert der Hersteller mit einem agilen Software-Hersteller als auch mit einem auf IoT, Big Data und Machine Learning spezialisierten Beratungsunternehmen (Holler et al. 2018, S. 137–139).

Frage 1: Welche Gestaltungsziele und Gestaltungsbereiche wurden im jeweiligen Fallbeispiel adressiert?

Insgesamt konnten 39 umgesetzte Gestaltungsziele identifiziert werden sowie 13 Gestaltungsziele, die nur in Teilen umgesetzt wurden (siehe mehr hierzu in Frage 2). Die Tabelle 86 gibt einen Überblick über die identifizierten Gestaltungsziele und zugehörige Gestaltungsbereiche. Die nur in Teilen umgesetzten Gestaltungsziele wurden bei der Seitenangabe der Quelle entsprechend in Klammern gesetzt.

Die meisten Gestaltungsziele in absoluten Zahlen ausgedrückt konnten für die Gestaltungsbereiche *IT-Architecture* (7) und *Data Analysis and Application* (6) identifiziert werden. Hierbei ist allerdings zu beachten, dass die Gestaltungsbereiche unterschiedlich viele Gestaltungsziele besitzen und es damit zu einer verschobenen Wahrnehmung kommen kann. Allerdings bleiben die beiden Gestaltungsbereiche auch weiterhin führend, setzt man die Anzahl der Gestaltungsziele je Gestaltungsbereich in Relation zueinander (wie viel Prozent wurden von dem Bereich umgesetzt).

Der Fokus der Beschreibungen lag vor allem auf dem Projektablauf und damit verbundene zentrale Tätigkeiten oder Entscheidungen in den jeweiligen Projektphasen. Zusätzlich fand das Projekt abgegrenzt vom restlichen Unternehmen als Test und Grundlage für zukünftige Veränderungen des Unternehmens statt, sodass das Unternehmen selbst keinen Veränderungen unterlag. Daher wurden erwartungsgemäß keine Gestaltungsziele für den Gestaltungsbereiche *Leadership* und *Department Systems* identifiziert.

Da es sich um das erste Projekt im Bereich digitalisierter Produkte für das Unternehmen zu handeln scheint, war ebenfalls nicht verwunderlich, dass dementsprechend keine Gestaltungsziele für den Bereich *Organizational Role* zu identifizieren waren.

Gestaltungsbereiche und -ziele	Holler et al. (2018)
Strategy Development	
1.1.4 Stakeholder-Kooperation bei Vision-/Strategie-/Roadmap-Entwicklung	S. 141, 146, 139
Funding and Investment	
1.2.5 Technologie-Investitionen sind mit den Ergebnissen verknüpft	S. 142
1.2.11 Skaleneffekte nutzen, um die per Capita zu reduzieren	S. 144
1.2.13 Business Cases sind etabliert	(S. 144)
1.2.14 Proof-of-Concept-Projekte zur Evaluierung der Umsetzbarkeit	S. 141
Business Models	
1.3.1 Anpassung von bisherigen Geschäftsmodellen	S. 142
1.3.2 Neue Geschäftsmodell-Möglichkeiten können angeboten werden	S. 142, 148
Organizational Structure and Culture	
2.1.1 IT-Open-Mindedness der Mitarbeiter	S. 141
2.1.2 Teilen von Wissen/Informationen mit Externen	(S. 141)
2.1.5 Kollaborationen mit Stakeholdern wird durch die Organisationsstruktur ermöglicht	(S. 142)
2.1.10 Zusammenführung unterschiedlicher Unternehmenskulturen	(S. 142)
Governance Model	
2.2.1 Multi-Partner-Governance-Modell ist entwickelt	(S. 141)
Intra- and Cross-company Collaboration	
3.2.1 Abteilungsübergreifende Zusammenarbeit	S. 142
3.2.3 Unternehmensübergreifende Zusammenarbeit	S. 141
Stakeholder Collaboration	
3.3.1 Gemeinsame Entwicklung mit den Stakeholdern	S. 139, 146
3.3.3 Entwicklung inklusiver Engagement-Kanäle	(S. 141)
3.3.9 Aktive Beteiligung an Workshops und Konferenzen	S. 142
3.3.14 Engagement-Pilot-Projekte angestoßen	(S. 141)
Skill Development	
3.4.7 Koordination von Aus- und Fortbildungsprogrammen	S. 149
Processes in General	
4.1.7 Stakeholder-Feedback-Loops sind vorhanden	S. 141, 143
4.1.8 Kollaboration ist ein formaler Prozess	S. 142
Procurement, Sales, Services and Operation	
4.2.1 Digitalisierung von Sales und Services	S. 142
4.2.4 Nutzung von Echtzeitdaten im operativen Management	S. 143
Development and Manufacturing	
4.3.1 Anforderungen der Kundengruppen sind dokumentiert	S. 141
4.3.6 Neue digitale Technologien werden über formalen Prozess identifiziert	(S. 142)
4.3.10 Testing (Pilot-Projekte, Demonstrationen)	S. 141, 142

Gestaltungsbereiche und -ziele	Holler et al. (2018)
4.3.11 Pilot-Kollaborations-Projekte	(S. 141)
Asset Management	
4.4.3 Performanz- und Einsatzoptimierung der Assets ist optimiert	(S. 143)
4.4.5 Nutzenmaximierung basiert auf den Daten und Systemen der digitalisierten Produkte	S. 143
IT Architecture	
5.1.1 Aktuelle (und offene) Standards und Frameworks	S. 142, 146
5.1.4 IT-Dashboards werden eingesetzt	S. 143
5.1.5 Awareness, Echtzeit-Überwachung und -Steuerung	S. 143
5.1.11 Skalierbare und intuitive IT-Infrastruktur	S. 142 (in Planung)
5.1.12 IT-Architektur-Plan ist entwickelt	S. 142
5.1.14 IT-Architektur-Evaluation	S. 142
5.1.18 Analyse und Auswahl einer neuen Infrastruktur und notwendige Werkzeuge	S. 142
Product IT Architecture	
6.1.6 Produkt-Tracking entlang des Lebenszyklus	S. 143, 147
Service Design	
6.2.2 Innovative Kundenprodukte verfügbar	(S. 143)
6.2.3 Stakeholder Integration als Inputgeber durch formalen Prozess	S. 141, 142, 146
Data and AI	
6.3.1 Datensammlung und -speicherung durch die digitalisierten Produkte	S. 143
6.3.6 Predictive Modeling für Kundenbedürfnisse	(S. 143)
6.3.7 (deskriptive, diagnostische, prädiktive, präskriptive) Datenanalysen	(S. 143)
6.3.10 Kunden haben Zugriff auf Nutzungsdaten	S. 142
Data Acquisition and Integration	
7.1.1 System-weite Datenerfassung	S. 147
7.1.4 Überwachung und Prüfung der Datenprozesse	S. 146
Data Analysis and Application	
7.2.1 Analysen basieren auf Echtzeitdaten	S. 142
7.2.4 Service-Verbesserung durch Datenanalysen	S. 147
7.2.5 Dynamische Preisermittlung durch Umgebungsdaten	S. 142
7.2.8 Support-prozess-Optimierung durch Predictive Modeling oder Echtzeit-Simulationen	S. 143
7.2.10 Produktverbesserung (Betriebsdauer) durch Predictive Maintenance	S. 143
7.2.12 Operationelle Vorhersagen	S. 143
Data Sharing	
7.3.14 Ende-zu-Ende-Datenfluss	S. 142

Tabelle 86: Identifizierte Gestaltungsbereiche und -ziele der Fallstudie 2

Die Gestaltungsziele der drei Gestaltungsbereiche sind fast ausschließlich höheren Reifegrade zugeordnet, die eine Involvierung des gesamten Unternehmens notwendig machen, um letztendlich einen System-of-Systems-Ansatz auf dem höchsten Reifegrad zu ermöglichen.

Für die Bereiche *Communications and Networks* und *Security and Privacy* konnten ebenfalls keine Gestaltungsziele identifiziert werden. In diesen Fällen kann allerdings angenommen werden, dass durchaus Tätigkeiten in diesen Bereichen stattgefunden haben. Von Anfang an wurde eine starke Nutzerorientierung im Projekt angestrebt. Ebenso fand eine intensive Planung einer zukunftsorientierten Architektur statt, um Komptabilität mit den unternehmenseigenen Systemen zu erzeugen und eine zukünftige Erweiterbarkeit und Echtzeitverarbeitung für weiter fortgeschrittene Produkt-Service-Systeme zu ermöglichen (Holler et al. 2018, S. 141–142). Dementsprechend sollten auch Gestaltungsziele der Bereiche *Communications and Networks* sowie *Security and Privacy* umgesetzt worden sein.

Betrachtet man die den Gestaltungszielen originären Anwendungsdomänen, so ist festzustellen, dass nur neun Gestaltungsziele aus der Manufacturing-Domäne entstammen. Die übrigen Gestaltungsziele basieren auf den Reifegradmodellen der Energy-, Smart-City- und Tourism-Domäne oder entstammen der Herausforderungsanalyse. Dabei ist das Fallbeispiel von den Autoren selbst den Domänen *Manufacturing* und *Mobility* zugeordnet worden. Es zeigt sich also, dass die Erkenntnisse aus den anderen Domänen übertragbar sind und belegt gleichzeitig auch die bereits identifizierte Abhängigkeit der Domänen untereinander.

Frage 2: *Welcher Reifegrad wurde vermutlich in dem geschilderten Projekt erzielt?*

Die Fallstudie skizziert wichtige Schritte eines Pilottestprojekts für einen größeren Role-Out des Konzepts bei erfolgreicher Umsetzung und Überzeugung des Managements. Es lässt sich daher als Business Case verstehen und ist damit charakteristisch für den *ersten Reifegrad (Smart Product)*. Hierfür spricht auch, dass in einigen Gestaltungsbereichen keine Gestaltungsziele identifiziert werden konnten, die Veränderungen im gesamten Unternehmen erfordert hätten und deren Gestaltungsziele in der Regel höheren Reifegraden zugeordnet sind (siehe Frage 1)

Auf einen zweiten (*Smart, connected Product*) oder dritten Reifegrad (*Aware smart, connected Product*) deuten die Ergänzung um verschiedene Sensoren (Details über die Art und Möglichkeiten der Sensoren fehlen im Text), die Echtzeitdatenverarbeitung, die Fähigkeit des Predictive Maintenance und die automatisierten

Lösungsvorschläge hin. Zusätzlich wurden verschiedene Evaluationen (mit Prototypen) durchgeführt, neue Geschäftsmodelle entwickelt, mit Stakeholdern zusammengearbeitet und eine entsprechende Architektur ist im Aufbau.

Betrachtet man die absoluten Zahlen der umgesetzten Gestaltungsziele zeigt sich, dass von den 39 identifizierten Gestaltungszielen, die meisten Gestaltungsziele (16) dem zweiten Reifegrad zugeordnet sind (für die Gestaltungsziel-Zuordnung je Reifegrad siehe Anhang B). Es wurden aber auch schon einige Gestaltungsziele des dritten (9), vierten Reifegrads (8), ersten Reifegrad (5) und fünften Reifegrads (1) umgesetzt.

Überraschend hierbei ist die hohe Anzahl an umgesetzten Gestaltungszielen auf dem *vierten Reifegrad (Product Systems)*, der eigentlich durch seinen Plattform-Charakter, Integration und KI-Einsatz gekennzeichnet ist. Allerdings ist die Kooperation mit verschiedenen Partnern insb. hinsichtlich geteilter Investitionsprogramme und die Stakeholder-Integration wichtige Aspekte im Fallbeispiel.

Auffällig bei der Zuordnung war darüber hinaus, dass auch zahlreiche Gestaltungsziele (13) identifiziert wurden, die nur in Teilen umgesetzt wurden und einem höheren Reifegrad zugeordnet sind. Ein Beispiel hierfür wäre das Gestaltungsziel 6.3.7 *Datenanalysen*. Das Gestaltungsziel gibt vor, dass die Produkte deskriptive, diagnostische, prädiktive und präskriptive Datenanalysen durchführen. Während es dem Fallbeispiel zur Folge zutrifft, dass die LKWs diagnostische, prädiktive und deskriptive Analysen durchführen können, sind präskriptive Datenanalysen noch nicht vorgesehen. Das dem vierten Reifegrad zugeordnete Gestaltungsziel wurde demnach nicht vollständig umgesetzt. Hier zeigt sich, dass bei der Zusammenführung der Reifegradmodelle nur die beste mögliche Ausprägung eines Gestaltungsziel übernommen wurde und nicht alle Zwischenschritte (siehe Kapitel 6.1), die ein granularer Einordnung erlaubt hätten. Gleichzeitig hätte aber die Übernahme aller Gestaltungsziele auf allen Ebenen das Modell stark vergrößert.

Dementsprechend erscheint eine Einordnung des Projekts anhand der verfügbaren Informationen auf dem ersten oder zweiten Reifegrad am wahrscheinlichsten.

Frage 3: *Werden die im Fallbeispiel genannten Herausforderungen durch das Reifegradmodell abgedeckt?*

Die zentralen Herausforderungen des Projekts ergaben sich während der Konzeptualisierungsphase. Hierzu zählen die Zusammenführung verschiedener Systeme (externe Quelle, Enterprise-Ressource-Planning-System, Product-Data-Management-System) mit der vorhandenen IT-Architektur und die Schaffung eines zukunftssicheren Setups. Als Lösung wurde sich für eine Lambda-Architektur wegen

dem Batch- und Real-Time-Processing entschieden (Holler et al. 2018, S. 142). Inwiefern dies die Integrations- bzw. Interoperabilitätsprobleme löst, wurde dabei nicht adressiert.

Interoperabilität und Systemintegration sind im DPMM durch mehrfache Gestaltungsziele abgedeckt:

Bei dem Konzept der Interoperabilität wird im DPMM mehrfach auf die Nutzung von offenen Standards (2.3.3, 5.1.1, 7.3.1), einer gemeinsamer Sprache zwischen Systemarchitekturen (5.1.8) und die Notwendigkeit des Austausches im Rahmen von Workshops oder Konferenzen (3.3.9) verwiesen. Interoperabilität wird daher auch als zentrales Konzept verstanden, das es gilt früh in der Entwicklung zu berücksichtigen (5.1.8, 5.1.9) und bei der Architekturgestaltung zu priorisieren (5.1.10). Dabei wird auch darauf hingewiesen die vorhandene/vorgeschlagene IT-Architektur diesbezüglich zu evaluieren (5.1.14), wie dies im Fallbeispiel scheinbar auch getan wurde.

Auch die Möglichkeit der generellen Systemintegration sollte vorher in Bezug auf Kosten, Vorteile und Barrieren evaluiert werden (5.1.16). Dabei wird generell die Integration der Unternehmenssysteme wie die Integration von Supply-Chain-Systemen (5.2.2) oder Kampagnensysteme und Verkaufskanäle (5.2.3) angestrebt. Auf Produktebene wiederum wird die Integration der Produkte in andere Systeme (6.1.3) und die Integration von Ressourcen und Daten (7.1.6, 7.1.7) gefordert. Darüber hinaus existieren noch weitere Gestaltungsziele, die die Thematik indirekt adressieren, wie z. B. die Analyse und Maßnahmenplanung in Bezug auf die Heterogenität der Objekte (5.3.14).

Auch in Bezug auf die Gestaltung eines zukunftssicheren Systems können im Modell verschiedene Gestaltungsziele identifiziert werden, die diese Thematik berücksichtigen. So werden zum Beispiel (offene und) aktuelle Standards und Frameworks gefordert (5.1.1), der Einsatz moderner IT (5.1.2), die Skalierbarkeit der IT-Infrastruktur (5.1.11), ein übergreifendes Echtzeit-Netzwerk und Datenaustauschstrukturen (5.3.1) oder Breitbandinfrastruktur (5.3.6).

Als weitere Herausforderung wurde im Fallbeispiel die finanzielle Umsetzbarkeit thematisiert. Im Projekt wurde dies durch ein Abwägen der Kosten für die Architektur und den Einnahmen durch neue Möglichkeiten, die sich aus Geschäftsmodellinnovationen ergeben begegnet (Holler et al. 2018, S. 142).

Das DPMM deckt diese Thematik durch die gesamte Dimension *Strategic and Financial Planning* ab: Durch die Entwicklung einer Strategie (1.1.1) und dafür zugrunde liegende Markt- (1.1.8) und Produktanalysen (1.1.9) wird im Kern des

Modells eine Zielvorstellung entwickelt. Hierfür sind verschiedene, kontinuierliche IT-Investitionen notwendig, die es gilt entsprechen sinnvoll durch Ziele zu steuern (1.2.6), miteinander abzustimmen (1.2.10) und Skaleneffekte zu berücksichtigen (1.2.11).

Die Finanzierung basiert dabei auf verschiedenen Finanzierungsoptionen (1.2.17) und wird durch Proof-of-Concept-Projekte (1.2.14) und Business Cases (1.2.13) gestützt. Die Anpassung der bisherigen Geschäftsmodelle (1.3.1) oder die Entwicklung neuer Geschäftsmodell-Möglichkeiten (1.3.2), wie dies im Fallbeispiel erfolgt ist, sowie neue Kunden-Service-Modelle (1.3.7) oder die Nutzung granularer Marktoptionen (1.3.8) führen dabei die Produktkostenseite und die Investitions- und Finanzierungsseite zusammen, um die finanzielle Umsetzbarkeit zu ermöglichen.

Abschließend wurde im Fallbeispiel darauf hingewiesen, dass nicht alle Themen im Projekt in der gewünschten Tiefe betrachtet werden konnten und gerade in Bezug auf die Marktreife von Software und Hardware noch weitere Aktivitäten notwendig sind (Holler et al. 2018, S. 144). Hierbei können Modelle wie das DPMM unterstützen, bestimmte Herausforderungen frühzeitig zu thematisieren bzw. zu antizipieren. Die dadurch erzielte Zeitersparnis ermöglicht es, andere Themen tiefer zu betrachten. Wird das DPMM zukünftig noch um Best Practices erweitert, hilft dies ebenfalls bei der frühzeitigen und schnelleren Lösung dieser Herausforderungen.

Im Fallbeispiel wurde nicht explizit thematisiert, welche weiteren Aktivitäten für die Marktreife als notwendig erachtet werden, sodass es hier schwierig ist, entsprechende Gestaltungsziele für die Thematik zu empfehlen. Grundsätzlich bietet das DPMM zahlreiche Gestaltungsziele für z. B. die Unternehmens-IT-Architektur, die Produkt-Architektur, das Service Design und dem Schutz der Sicherheit und Privatsphäre an, die unterstützend auf die Marktreife wirken können. Für die Inbetriebnahme der Services ist darüber hinaus ein strategischer Ansatz vorgesehen (4.3.12) sowie eine unternehmensinterne End-to-end Observability (7.3.2).

Frage 4: *Was für Empfehlungen können sich aus dem Reifegradmodell für das Fallbeispiel ableiten?*

Neben den in Frage 3 angeführten Verbesserungsansätzen zur Begegnung der Herausforderungen bietet das DPMM verschiedene weitere Empfehlungsmöglichkeiten für das Fallbeispiel:

Da die Digitalisierung der LKWs den Kerngeschäftsbereich betrifft und das Unternehmen anstrebt führend in diesem Bereich zu werden, ist z. B. die Ausfallsicherheit (6.1.8) der Produkte ein wichtiger Aspekt. Auch die Einschränkung der

Hardware-Ressourcen und entsprechende Maßnahmen im Architektur-Design (6.1.10) oder Maßnahmen für eine Evaluation der Performanz (4.1.10) sollten berücksichtigt werden, falls dies noch nicht geschehen ist.

Darüber hinaus bietet das DPMM zahlreiche Ansatzpunkte und Empfehlungen für die Überführung des Pilottestprojekts in den Regelbetrieb (z. B. die Gestaltungsziele aus den Bereichen Leadership und Skill Development).

Für den langfristigen Erfolg (und auch zur Erreichung des letzten Reifegrads) sollte das Unternehmen zudem ökologische bzw. nachhaltige Aspekte berücksichtigen. Da die vom Unternehmen angebotenen Produkte wie LKWs vermutlich CO₂ erzeugen, ist aufgrund der aktuellen Klimasituation für den langfristigen Erfolg des Unternehmens das Angebot und die Möglichkeiten in Bezug auf Nachhaltigkeit von Bedeutung. Das DPMM schlägt hierfür z. B. die Entwicklung und Implementierung einer Vision vor, die soziale, ökonomische und ökologische Ziele und Grundsätze spezifiziert (1.1.3) oder das Angebot von Nachhaltigkeits-Services (6.2.10).

Frage 5: *Welche Erkenntnisse lassen sich aus dem geschilderten Projekt für die Weiterentwicklung des Reifegradmodells ableiten?*

Die Zuordnung der Fallstudien zu den Gestaltungszielen zeigte, dass einige Gestaltungsziele von einer Aufteilung in mehrere Zwischenziele profitieren könnten (siehe Frage 2). Einige Gestaltungsziele enthalten Vorgaben, die in Teilen einem geringeren Reifegrad entsprechen und in Teilen einem höheren. Bei der Entnahme der Gestaltungsziele aus den originären Reifegradmodellen der Anwendungsdomänen wurde bewusst auf die Entnahme aller Zwischenschritte verzichtet. Bei einigen komplexen Gestaltungszielen könnte jedoch eine Aufteilung Sinn machen. Darum wäre eine zielgerichtete Evaluation dieses Aspekts sinnvoll.

Durch die Fallstudie konnte gezeigt werden, dass das DPMM für abgegrenzten Projekte digitalisierter Produkte im Bereich Smart Manufacturing/Mobility eingesetzt werden kann. Das Reifegradmodell beinhaltet die zentralen Tätigkeiten, deckt die Herausforderungen ab (siehe Frage 3) und kann weitere Hilfestellungen geben (siehe Frage 4).

Des Weiteren konnte mit der Fallstudie demonstriert werden, dass Gestaltungsziele aus anderen Anwendungsdomänen digitalisierter Produkte hilfreich für die jeweilige Problemdomäne sein können (siehe Frage 1). Dies belegt allerdings noch nicht, dass alle zusammengeführten Gestaltungsziele des DPMM für alle Domänen Gültigkeit besitzen. Dies muss zukünftig im Detail evaluiert werden, da andernfalls bestimmte Reifegrade in bestimmten Domänen nicht erreicht werden könnten.

7.2.3 Fallstudie 3: Gold Coast City

Gold Coast ist eine Stadt bzw. ein Ballungsraum der australischen Südküste des Bundesstaats Queensland. Sie ist die zweitgrößte Stadt Queenslands und die sechstgrößte Stadt Australiens. Die Stadt sieht sich vielen Problemstellungen der modernen Zeit gegenüber wie eine wachsende Bevölkerung trotz geografischer Englage, Verkehrsproblemen und einer Abhängigkeit von Kraftfahrzeugen wegen zahlreicher Wasserwege. Als Küstenstadt spielt darüber hinaus auch das Naturkatastrophen-Management eine zentrale Rolle. Deswegen setzt die Stadt zur Lösung auf eine Transformation in Richtung einer Smart City (City of Gold Coast 2019, S. 1; Khanjanasthiti et al. 2021, S. 4–7; Yigitcanlar et al. 2021, S. 150).

Während Smart-City-Initiativen anderer australischer Städte wie Brisbane, Sydney oder Melbourne auf Pläne und Bestrebungen in diesen Bereichen zurückgreifen können, die ihren Ursprung teils in den 90er Jahren besitzen, sind die Bestrebungen Gold Coasts jüngerer Datums. Sie erhalten dadurch jedoch eine geringere allgemeine Aufmerksamkeit und dadurch auch eine geringere bundesstaatliche Finanzierung. Seit 2013 werden dennoch verschiedene Projekte geplant und umgesetzt, die diese Veränderung vorantreiben sollen (City of Gold Coast 2019, S. 1; Khanjanasthiti et al. 2021, S. 4–7; Yigitcanlar et al. 2021, S. 150).

Die Fallstudienanalyse von KHANJANASTHITI ET AL. (2021) basiert auf einem Review relevanter Dokumente und web-basierter Ressourcen mit Bezug zu Plänen und Projekten der Stadt, um daraus wichtige Lehren abzuleiten und auf noch bestehende Herausforderungen hinzuweisen.

Die Projekte der Stadt fokussieren dabei auf verschiedene Bereiche wie z. B. (Khanjanasthiti et al. 2021, S. 7–12):

- auf den Einsatz verschiedener Technologien wie Smart Cameras und Smart Water Meters zur Untersuchung der zahlreichen Wasserwege der Stadt,
- ein Smart-Ticketing-System für die öffentlichen Verkehrsmittel, insbesondere zur Ergänzung der neu eingeführten Stadtbahn (Light Rail),
- Investitionen in eine digitale Telekommunikationsinfrastruktur,
- Knowledge Sharing und Innovation Hubs (z. B. durch Workshops oder Co-Working-Optionen für Startups),
- internationale Kooperationen im Bereich Open Data oder
- Community-Engagement-Programme.

Frage 1: Welche Gestaltungsziele und Gestaltungsbereiche wurden im jeweiligen Fallbeispiel adressiert?

Für mehr als die Hälfte der 24 Gestaltungsbereiche des DPMM konnte eine (Teil-) Umsetzung der Gestaltungszielen identifiziert werden (siehe Tabelle 87).

Aus Sicht der Dimensionen zeigt sich, dass insbesondere die beiden Dimensionen *Strategic and Financial Planning* und *Stakeholder Management* im Fokus standen. Die Ziele der Dimensionen *Organizational Processes* und *Organizational Data and Analytics* fanden in der Analyse oder den Projekten der Stadt dagegen wenig Berücksichtigung.

Die identifizierten Gestaltungsziele verteilen sich hierbei weitestgehend gleichmäßig über die Gestaltungsbereiche, wobei *Funding and Investment* und *Stakeholder Collaboration* die meisten identifizierten Gestaltungsziele aufweisen können.

Gestaltungsbereiche und -ziele	Khanjanasthiti et al. (2021)
Strategy Development	
1.1.1 Strategieentwicklung	S. 4, 7 11
1.1.3 Vision	S. 11
Funding and Investment	
1.2.9 Kontinuierliche Investitionen in Technologien, Data Management, Big Data, IT-Architektur, etc.	S. 9
1.2.13 Business Cases etabliert	Alle Projekte
1.2.14. Proof-of-Concept-Projekte werden unterstützt	Alle Projekte
1.2.17 Investment-Portfolio und Prozesse etabliert	S. 5, 9
Business Models	
1.3.5 Marktchancen durch offene Daten-Community	S. 12
Organizational Structure and Culture	
2.1.2 Teilen von Wissen/Informationen mit externen Stakeholdern	(S. 12)
2.1.3 Etablierung einer Innovationskultur	S. 10
Governance Model	
2.2.1 Multi-Partner-Governance-Modell	(S. 11-12)
2.2.2 Abgleich der Governance-Strukturen mit Vision	(S. 11-12)
2.2.3 Innovationssystem wird durch Leadership und Governance-Modell gefördert	(S. 11-12)
2.2.6 Schutz intellektuellen Eigentums	(S. 12)
Intra- und Cross-company Collaboration	
3.2.3 Unternehmensübergreifende Zusammenarbeit	S. 7, 10-12
3.2.4 Partnerschaften gestalten	S. 11-12
3.2.5 Kollaboration mit anderen Führungskräften	S. 12
Stakeholder Collaboration	
3.3.7 Open-Data-Community als Grundlage für Nutzer-Engagement	S. 12
3.3.9 Aktive Beteiligung an Workshops/Konferenzen	S. 12

Gestaltungsbereiche und -ziele	Khanjanasthiti et al. (2021)
3.3.11 Vertragliche Vereinbarungen unterstützen Kollaborationen (Wettbewerbe, Events, etc.)	S. 11
3.3.14 Engagement-Pilot-Projekte sind angestoßen	S. 12
Skill Development	
3.4.2 Mitarbeiter IT-Skills auf aktuellem Stand	S. 11
3.4.3 Open-Data-Skills	(S. 11-12)
3.4.5 Entwicklung digitaler Kunden-Medienkompetenzen	S. 11
Development and Manufacturing	
4.3.11 Pilot-Kollaborations-Projekte zwischen Partnern sind etabliert	S. 7
IT Architecture	
5.1.2 Einsatz moderner IT	S. 7-8
5.1.5 Awareness, Echtzeit-Überwachung und -Steuerung	(S. 7-8)
Communications and Networks	
5.3.6 Breitbandinfrastruktur	S. 9
Service Design	
6.2.4 Öffentliche Partizipation beim Service Design (Social Media, Apps)	S. 8, 12
Data and AI	
6.3.1 Datensammlung und -speicherung durch die digitalisieren Produkte	S. 7-8
6.3.3 Autonomic Computing	S. 7-8
6.3.10 Kunden haben Zugriff auf Echtzeit-Nutzungsdaten	(S. 8)
Data Sharing	
7.3.9 Open-Data-Community-Developments	S. 12
7.3.10 Unterstützung der Open-Data-Community (Foren, Workspaces)	S. 12

Tabelle 87: Identifizierte Gestaltungsbereiche und -ziele der Fallstudie 3

Der Abgleich der Gestaltungsziele mit der Fallstudie gestaltete sich jedoch schwierig. Aus der Fallstudie ging nicht hervor, ob in Projekten umgesetzte Gestaltungsziele wie der Einsatz von Machine Learning zur Untersuchung der Wasserwege (Khanjanasthiti et al. 2021, S. 7) nur für das spezifische Projekt oder auch andere Projekte der Stadt umgesetzt wurden. Aus Modellsicht ist somit nicht klar, ob das Gestaltungsziel für die ganze Stadt als umgesetzt gilt oder nicht.

Es muss jedoch davon ausgegangen werden, dass es sich nur um Projekt-spezifisch umgesetzte Maßnahmen bzw. erreichte Gestaltungsziele handelt. Die Fallstudienanalyse selbst kritisiert, dass es sich bei den Maßnahmen von Gold City nur um ad-hoc Initiativen ohne koordinierten ganzheitlichen Ansatz handelt (Khanjanasthiti et al. 2021, S. 5). Fallbeispiel 1 hatte ein ähnliches Szenario, bei dem multiple unabhängige Projekte schwierig im DPMM zu verorten waren.

Die Analyse der Anwendungsdomänen der Gestaltungsziele zeigt, dass die Hälfte der identifizierten Gestaltungsziele originär den Smart-City-Reifegradmodellen entstammen. Die andere Hälfte verteilt sich gleichmäßig über die Energy- und Manufacturing-Reifegradmodelle. Auch dieses Fallbeispiel belegt damit, dass Gestaltungsziele aus den anderen Domänen übertragbar sind.

Frage 2: *Welcher Reifegrad wurde vermutlich in dem geschilderten Projekt erzielt?*

Die Fallstudienanalyse skizziert verschiedene ad-hoc Projekte und Projektansätze (Khanjanasthiti et al. 2021, S. 4–12), die meist als Pilottestprojekte fungieren und damit als Business Case verstanden werden können. Demnach wären sie dem ersten Reifegrad (*Smart Product*) zu zuordnen.

Für eine Einordnung auf dem zweiten Reifegrad (*Smart, connected Product*) sprechen dagegen die zahlreichen Partnerschaften mit Universitäten, Bürgern und Unternehmen sowie der Einsatz von Sensoren zur Sammlung von Kontextinformationen (z. B. für die Wasserwege oder für das zukünftige Verkehrssystem) (Khanjanasthiti et al. 2021, S. 7–10). Allerdings fehlt hier das ganzheitliche Systemdenken.

Die Fallstudienanalyse selbst ordnet Gold Coast trotz der bereits durchgeführten Projekte als eine Smart City ein, die noch am Anfang ihrer Transformation steht (Khanjanasthiti et al. 2021, S. 5). Dies würde ebenfalls der Einordnung auf dem ersten oder zweiten Reifegrad entsprechen.

Allerdings wurden von der Stadt auch schon viele Gestaltungsziele (in Teilen) umgesetzt, die dem vierten (*Product Systems*) oder dem fünften Reifegrad (*System-of-Systems*) entstammen. Hierzu zählen z. B. die Maßnahmen für einen Open-Data-Ansatz (Khanjanasthiti et al. 2021, S. 12).

Diese Mischung aus vereinzelt Testprojekten mit Ansätzen höherer Reifegrade unterstreicht die Konklusion der Fallstudienanalyse, dass bisher im Gegensatz zu den anderen australischen Städten kein holistischer und koordinierter Ansatz für die Transformation der Stadt zur Smart City existiert. Stattdessen wurde sich vor allem auf die technologische Dimension konzentriert und damit andere wichtige Aspekte vernachlässigt (Khanjanasthiti et al. 2021, S. 5–14).

Dementsprechend erscheint eine Einordnung der Fallstudie auf dem Reifegrad 1 am wahrscheinlichsten.

Frage 3: *Werden die im Fallbeispiel genannten Herausforderungen durch das Reifegradmodell abgedeckt?*

Die Fallstudienanalyse verordnet das Fallbeispiel als eine noch am Anfang der Wandlung hin zu einer Smart City stehenden Stadt ein. Zur Begegnung der zahlreichen Herausforderungen der Transformation benötigt die Stadt allerdings einen mehr koordinierten, ganzheitlichen Ansatz und eine bessere Stakeholder-Integration (Khanjanasthiti et al. 2021, S. 5).

Dabei identifiziert die Fallstudie vor allem bestehende Herausforderungen und Verbesserungspotentiale in den folgenden Bereichen (Khanjanasthiti et al. 2021, S. 6–14):

- *Cultural & Natural Amenities*: Verbesserung des öffentlichen Images der Stadt und Bezahlbarkeit von Wohnraum notwendig, um Wissensarbeiter anzulocken;
- *Knowledge & Innovation Precincts*: Verbesserung der eingeschränkten Transportverbindungen zwischen Wissenszonen (z. B. Universitäten, Krankenhäuser) und Reduzierung des Verkehrsaufkommens durch z. B. öffentliche Verbindungen und Fahrradwege notwendig;
- *Governance*: der Corporate Plan ist bisher primär auf die Technologie-Dimension fokussiert, Open Data wird nur eingeschränkt genutzt aufgrund von Daten-Eigentümerschaft und im strategischen Framework fehlende Smart-City-Aspekte;
- *People & Skills*: die Attraktivität der Stadt ist für Wissensarbeiter und internationale Studierende durch eingeschränkte Möglichkeiten der Erwerbstätigkeit eher gering;
- *Technology*: Breitbandinfrastruktur ist notwendig, es sind aber nur begrenzte Finanzierungsmöglichkeiten für zukünftige Smart-City-Initiativen vorhanden;
- es sind außerdem Verbesserung des Katastrophenmanagements im Küstenbereich durch smarte Technologien notwendig.

Die Herausforderungsbereiche **Governance** und **Technology** sind Bereiche, die im DPMM im Fokus stehen und durch die Gestaltungsziele unterstützt werden. Dabei decken sich die in der Fallstudienanalyse identifizierten Herausforderungen mit denen durch das DPMM geforderten Aspekten durch Klärung von Daten-Eigentümerschaft (2.2.6), strategische Verankerung, Verantwortungsübernahme und Kommunikation des Vorgehens (z. B. 1.1.1, 1.1.5, 1.1.6, 3.1.1, 3.1.4) und Etablierung eines Multi-Partner-Governance-Modells (2.2.1).

Hinsichtlich der Finanzierung sieht das DPMM die Sicherstellung eines Finanzierungsportfolios und einen koordinierten Finanzierungsprozess (1.2.17) mit abgestimmten und geteilten Investitionen (1.2.8, 1.2.10, 1.2.15, 1.2.19) vor, wobei Skaleneffekte genutzt werden sollen (1.2.11).

In Bezug auf die IT wiederum soll dem DPMM zufolge moderne, skalierbare IT zum Einsatz kommen (5.1.2, 6.1.5, 5.1.11) sowie die Nutzung von (offenen) Standards, Frameworks (5.1.1) und Breitbandinfrastruktur (5.3.6).

Demnach hätte der Einsatz des DPMM im Rahmen der Smart-City-Initiative von Gold Coast City bei der Identifizierung dieser Problembereiche ebenso unterstützend gewirkt wie die Identifizierung durch die Fallstudienanalyse.

Die Bereiche **Cultural & Natural Amenities, Knowledge & Innovation Precincts** und **People & Skills** können dagegen nicht oder nur indirekt unterstützt werden:

So sieht das DPMM keine Gestaltungsziele vor, die das Image der Stadt verbessern. Allerdings kann durch eine intensive Stakeholder-Integration in allen Bereichen, wie es das DPMM fordert, ggf. positiv auf das Image der Stadt Einfluss genommen werden.

Das Problem des Verkehrsaufkommens wiederum entspricht der Anwendungsdomäne *Transportation* digitalisierter Produkte (siehe Kapitel 2.3.2). Digitalisierte Produkte können hierbei zur Verbesserung des Verkehrsaufkommens beitragen, wie dies im Fallbeispiel mit dem Smart Ticketing und geplanten Sensornetzwerk bereits angedacht ist (Khanjanasthiti et al. 2021, S. 8–10). Die gezielte Entwicklung und Projektbegleitung könnte durch das DPMM somit unterstützt werden.

Ebenso verhält sich dies für die angesprochene Verbesserung des Katastrophenmanagements durch entsprechend smarte Technologien, eine weitere spezifische Anwendungsdomäne digitalisierter Produkte (siehe Kapitel 2.3.2). Auch hier kann das DPMM bei der grundsätzlich Entwicklung unterstützen. Darüber hinaus sind aber auch spezifische Gestaltungsziele für diesen Bereich vorhanden wie die Fähigkeiten von Systemen für Awareness, Echtzeitüberwachung und -steuerung u. a. bei Naturkatastrophen bzw. nicht vorhersehbaren Events (5.1.5, 7.2.11), die Erfüllung kritischer Infrastruktur-Assurance-Ziele für Resilienz (5.1.15) und die Sicherstellung von Substituten für Verlässlichkeit und Ausfallsicherheit der eingesetzten digitalisierten Produkte (6.1.4, 6.1.8).

Lediglich für die Herausforderungen in Bezug auf bezahlbaren Wohnraum und Verbesserung der Möglichkeiten von Erwerbstätigkeiten bietet das DPMM keine Unterstützung an. Analog zum Image der Stadt liegt dies allerdings auch gar nicht

im Fokus des Modells, weshalb sich daraus keine notwendigen Modellverbesserungen oder -änderungen ergeben.

Für die in der Fallstudienanalyse angesprochene Notwendigkeit der Verbesserung der Stakeholder-Integration bietet das DPMM durch die dafür eigens vorgesehene Dimension *Stakeholder Management* zahlreiche Gestaltungsziele an. Darüber hinaus finden sich vereinzelte Gestaltungsziele in den anderen Dimensionen und Gestaltungsbereichen, die ebenfalls die Stakeholder Integration adressieren. Hierzu zählen z. B. die Stakeholder-Kooperation bei der Entwicklung von Vision, Strategie und Roadmap in der Dimension *Strategic and Financial Planning* (1.1.4), die Verbesserung der Organisationsstruktur für die Kooperation mit Stakeholdern der Dimension *Organization and Governance* (2.1.5) oder die Integration der Stakeholder beim Service Design der Dimension *Product Design* (6.2.3).

Das DPMM kann demnach nicht alle (praktischen und spezifischen) Herausforderungen des Fallbeispiels adressieren, liefert aber direkte Hilfestellungen und Grundlagen für insbesondere strategische, taktische und Technologie-bezogene Herausforderungen. Ebenso bietet es indirekte Hilfestellungen für die anderen Problembereiche.

Frage 4: *Was für Empfehlungen können sich aus dem Reifegradmodell für das Fallbeispiel ableiten?*

Die Fallstudienanalyse von KHANJANASTHITI ET AL. (2021, S. 5) identifizierte bereits die Notwendigkeit eines koordinierten, ganzheitlichen Ansatzes für eine Weiterentwicklung der Gold Coast zur Smart City. Dies lässt sich auch aus dem DPMM ableiten, ebenso wie die notwendige intensivere Stakeholder-Integration.

Aus Reifegradmodellsicht empfiehlt sich neben den durch die Fallstudienanalyse identifizierten Herausforderungen und Verbesserungsmöglichkeiten (siehe Frage 3) zudem die Etablierung und Verbesserung verschiedener Prozesse wie z. B. Stakeholder-Feedback-Loops (4.1.7) oder die Evaluation der Performanz (4.1.10).

Aus technischer Sicht wiederum empfiehlt sich ebenfalls die Gestaltung und Etablierung einer übergreifenden IT-Architektur und Netzwerkdesign (siehe alle Gestaltungsziele der Bereiche 5.1 und 5.3). Dadurch wird auch die Verknüpfung der einzelnen ad-hoc Projekte unterstützt und eine umfangreiche Datensammlung, -analyse und -nutzung (siehe alle Gestaltungsziel der Bereiche 7.1 und 7.2) ermöglicht. Mit den gewonnenen Daten können auch entsprechend individuelle und innovative Produkte und Geschäftsmodelle angeboten werden, was wiederum ein Voranschreiten auf dem Weg zu einer Smart City dienlich ist.

Frage 5: *Welche Erkenntnisse lassen sich aus dem geschilderten Projekt für die Weiterentwicklung des Reifegradmodells ableiten?*

Wie bereits Fallbeispiel 1 zeigte das Fallbeispiel, dass die Anwendung des DPMM auf multiple unabhängige Projekte/Produkte gleichzeitig schwieriger gestaltet (siehe Frage 1). Hierfür bieten sich verschiedene Erklärungsansätze. Die Schilderung mehrerer Projekte innerhalb einer Fallstudie verringert die Einzelprojektdichte, wodurch weniger Informationen für die einzelnen Projekte/Produkte für die Analyse zur Verfügung stehen und so die Anwendung des Modells verfälscht haben könnten. Ein weiteres Problem beider Fallstudien war, dass die einzelnen Projekte nicht koordiniert als Gesamtprojekt umgesetzt wurden, was ebenfalls Auswirkungen auf die Einordnung im DPMM hat. Grundsätzlich zeigt sich hier eine mögliche Schwäche des Modells, die entsprechend in der nächsten Iteration thematisiert werden sollte.

Dagegen konnte durch die Fallstudie erneut gezeigt werden, dass Gestaltungsziele bestimmter Anwendungsdomänen auf andere Anwendungsdomänen digitalisierter Produkte übertragbar sind. Eine domänenübergreifende Zusammenführung, insbesondere für Anwendungsdomänen ohne Reifegradmodell, ist daher sinnvoll.

Darüber hinaus konnte gezeigt werden, dass das DPMM fast alle der von der Fallstudienanalyse identifizierten Problem- und Verbesserungsbereiche abdeckt (Frage 3). Ebenso konnte mithilfe des Modells weitere Empfehlungen, die darüber hinaus gehen, gegeben werden (Frage 4), sodass die Wirksamkeit und Effektivität des DPMM in Teilen gezeigt werden konnte.

7.3 Zusammenfassung der Ergebnisse

Die Evaluation des Reifegradmodells der vorliegenden Arbeit, dem DPMM, durch ein illustratives Szenario basierend auf drei realen Fallstudien zur Ermittlung von Rigor, Effizienz und Reduzierung von Risiken hinsichtlich Design und Nutzung erbrachte die im Folgenden geschilderten Erkenntnisse:

In Bezug auf Rigor (Wirksamkeit, Construct Validity) konnten keine Lücken im Modell identifiziert werden. Die durchgeführten Projekte konnten in das Modell eingeordnet und offene Herausforderungen der Fallbeispiele mithilfe des DPMM adressiert werden. Ausnahmen hiervon bildeten lediglich Herausforderungen, die nicht die digitalisierten Produkte bzw. zugehörige Projekte an sich betrafen (z. B. Schaffung von Erwerbstätigkeiten). Zusätzlich konnte mithilfe des DPMM Empfehlungen für zukünftige Verbesserungen und Projektweiterentwicklungen für verschiedene Projekt-Entwicklungsstadien skizziert werden. Somit konnte der Einsatz des Modells demonstriert werden.

Der Einsatz des DPMM zeigte ebenfalls die Übertragbarkeit von Gestaltungszielen zwischen Domänen. Gestaltungsziele, die ursprünglich aus einer spezifischen Anwendungsdomäne entstammten, wurden in anderen Anwendungsdomänen identifiziert oder konnten als Empfehlung für die Weiterentwicklung herangezogen werden.

Ergänzend hierzu konnte die Erkenntnis gewonnen werden, dass sich Praxis-Projekte nicht immer auf eine einzelne Anwendungsdomänen beschränken, sondern Anwendungsdomänen-übergreifend stattfinden oder durch Schnittstellen mit anderen Anwendungsdomänen verbunden sind. Dies unterstreicht die Vorteile eines domänenunabhängigen/-übergreifenden Reifegradmodells und die Möglichkeiten des Erkenntnistransfers über Anwendungsdomänengrenzen hinweg. Dadurch hat ebenfalls eine nicht für die Evaluation geplante Modelllegitimation stattgefunden.

Die Einfachheit der Nutzung bzw. die Design- und Nutzungsrisiken konnten nur begrenzt evaluiert werden, da die Fallstudien nur bedingt Informationen für den Abgleich mit dem DPMM beinhalteten und damit kein vollständiger Einsatz erprobt werden konnte. Die von den Fallstudien zur Verfügung gestellten Projektinformationen konnten allerdings vollständig in das DPMM eingeordnet werden und dadurch eine Annahmen-basierte grobe Reifegradbewertung vorgenommen werden.

Eine Herausforderung hierbei stellten allerdings die multiplen parallelen Projekte von Fallstudie 1 und 3 dar und der Abgleich dieser mit dem DPMM. So war nicht eindeutig, ob bestimmte Gestaltungsziele nur in einem Projekt oder in allen Projekten umgesetzt waren. Dadurch war nicht eindeutig, ob das Gestaltungsziel als erfüllt betrachtet werden kann oder nicht. Dies kann an einem Informationsdefizit der Fallstudien liegen oder auf ein Problem des Modells hinweisen. Eine auf diesen Aspekt fokussierte zukünftige Evaluation sollte hierzu mehr Erkenntnisse liefern und mögliche Lösungsszenarien bewerten können. So ist es denkbar den Einsatz des Modells auf Einzelprojekte oder Unternehmensbereiche zu beschränken. Gleichwohl könnte auch eine Anpassung der Reifegrade eine mögliche Lösung darstellen.

Ein weiterer Aspekt, der unter den Bereich der Design- und Nutzungsrisiken fällt ist die Erkenntnis, dass komplexe Gestaltungsziele nochmal überdacht und diese ggf. aufgeteilt werden sollten, um granulare Zwischenschritte für die Reifegradbeurteilung und -erreicherung zu ermöglichen. Einige komplexe Gestaltungsziele wiesen Teilaspekte auf, die sich auf unterschiedlichen Reifegraden verordnen lassen

und damit die Einordnung eines Projektes erschweren, wenn dieses nur einen dieser Teilaspekte abdeckt. Die Gestaltungsziele sollten diesbezüglich noch einmal evaluiert und ggf. angepasst werden.

Zukünftige Evaluationsepisoden sollten demnach um die durch diese Evaluations-episode identifizierten offenen Aspekte ergänzt werden.

8 Zusammenfassung, kritische Würdigung, weiterer Forschungsbedarf und Ausblick

Jedes Hauptkapitel der vorliegenden Arbeit bespricht Erkenntnisse und kritische Aspekte, die in dem jeweiligen Kapitel erzielt wurden, ausführlich. Dieses Kapitel dient deshalb der abschließenden Zusammenführung der zentralen Erkenntnisse, Ergebnisse und Kritiken als Überblick.

In dem vorliegenden Kapitel werden daher zunächst die zentralen Ergebnisse der vorliegenden Arbeit zusammengefasst (KAPITEL 8.1). Im Anschluss erfolgt eine kritische Würdigung der Ergebnisse und gewählten Vorgehensweisen sowie die Erläuterung des sich daraus ergebenden weiteren Forschungsbedarfs (KAPITEL 8.2).

Das Kapitel schließt mit einem Fazit, das noch einmal die ursprüngliche Forschungsfrage und das Ziel der Arbeit aufgreift, sowie mit einem Ausblick auf weitere Forschungsmöglichkeiten (KAPITEL 8.3).

8.1 Zusammenfassung der zentralen Ergebnisse der Arbeit

Der Forschungsbereich der digitalisierten Produkte ist noch als eher als jung und innovativ zu verstehen, weshalb entsprechende Forschung bisher sehr heterogen und wenig holistisch ist. Entsprechend fundierte und umfangreiche Hilfestellungen fehlen daher, während gleichzeitig zahlreiche Herausforderungen der Entwicklung festzustellen sind. Eine fehlende einheitliche Terminologie und die Erweiterungsmöglichkeiten von digitalisierten Produkten zu umfangreichen Ökosystemen erschweren die Situation zusätzlich.

Um die Forschung in diesem Bereich zu unterstützen wurde das folgende Ziel für diese Arbeit festgelegt:

Ziel dieser Forschungsarbeit ist die Konsolidierung des bisherigen Wissens der Entwicklung digitalisierter Produkte aus den verschiedenen Anwendungs- und Forschungsdomänen zur Unterstützung eines einheitlichen Body of Knowledge.

Um dieses Ziel zu erreichen, wurde ein domänenunabhängiges bzw. -übergreifendes Reifegradmodell entwickelt, wodurch sich die Forschungsarbeit in die gestaltungsorientierte Forschung der deutschsprachigen Wirtschaftsinformatik einordnet. Während die Schaffung eines einheitlichen Body of Knowledge und die Anwendung der Methode Reifegradmodellierung in einer innovativen Domäne vor allem einen Beitrag für die Forschung lieferten, stellt das Ergebnisartefakt auch einen Beitrag für die Praxis dar.

Als Grundlage für die Entwicklung des Reifegradmodells, dem DPMM, wurden zunächst die Anwendungs- und Forschungsdomänen digitalisierter Produkte identifiziert und voneinander differenziert (siehe KAPITEL 2):

Als *Forschungsdomänen* werden dabei Domänen verstanden, die von realweltlichen Anwendungsbereichen abstrahieren und sich übergreifend konzeptionell mit digitalisierten Produkten auseinandersetzen. Die Untersuchung identifizierte hierbei sechs zentrale Forschungsdomänen: (1) *Context-aware Computing*, (2) *Ubiquitous Computing*, (3) *Pervasive Computing*, (4) *Internet of Things*, (5) *Ambient Intelligence* und (6) *Mobile Computing*.

Dabei unterscheiden sich die Forschungsdomänen voneinander vor allem durch ihren jeweiligen Praxis- oder Forschungsursprung, ihrer jeweiligen Technologie- oder Nutzerorientierung, dem Fokus auf Mobilität oder Einbettung der Technologien in die Umgebung sowie der etwaigen angestrebten Ubiquität.

Die *Anwendungsdomänen* stellen dagegen die realweltlichen und damit praxisorientierten Einsatzbereiche digitalisierter Produkte dar und können in drei aufeinander aufbauende Bereiche gruppiert werden (siehe Tabelle 88). Neben der hierarchischen Abhängigkeit der Bereiche stehen die Anwendungsdomänen auch innerhalb der jeweiligen Bereiche in Beziehung zueinander bzw. sind nicht immer trennscharf voneinander abgrenzbar.

Domänenbereiche	Anwendungsdomänen
Public Administration	Smart City (& Government)
Business and Consumer	Agriculture, Education, Entertainment, Healthcare, Logistics, Manufacturing, Smart Home, Social Networking und Tourism
Infrastructure	Building, Energy, Security and Safety, Transportation

Tabelle 88: Überblick über die Anwendungsdomänen und Domänenbereiche digitalisierter Produkte

Dieses Beziehungsgeflecht der Anwendungsdomänen wird durch das multidirektionale Verhältnis der Anwendungsdomänen zu den Forschungsdomänen weiter in ihrer Komplexität gesteigert. So wird in der Literatur eine Anwendungsdomäne verschiedenen Forschungsdomänen zugeordnet, während gleichzeitig unter einer Forschungsdomäne mehrere Anwendungsdomänen subsummiert werden.

Die Tiefenanalyse der dabei im Zentrum der Domänen stehenden digitalisierten Produkte brachte weitere Erkenntnisse (siehe KAPITEL 3):

Digitalisierte Produkte sind soziotechnische Systeme, deren primäre Merkmale die Sammlung (und Nutzung) von Umgebungsinformationen und die Interaktion mit Nutzern und anderen Produkten sind. Hierfür weisen sie eine gewisse Autonomie

auf, deren konkrete Ausprägung (z. B. eigenständiger Netzwerkaufbau, eigenständige Einbettung in die Umgebung, proaktive Nutzeransprache) abhängig von den Bedarfen der jeweiligen Domäne ist. Neuere Merkmale wie die gemeinsame Wertzeugung von Produzenten und Konsumenten werden bisher erst vereinzelt in konzeptionellen Modellen wiedergegeben. Da kein Modell bisher alle Merkmale und Komponenten digitalisierter Produkte abbildet, wurde für diese Arbeit eine eigene konzeptionelle Darstellung abgeleitet.

Darauf aufbauend bildeten die identifizierten Komponenten digitalisierter Produkte die Grundlage für die Klassifizierung der Herausforderungen digitalisierter Produkte. Dies zeigte, dass alle konzeptionellen Komponenten digitalisierter Produkte von unterschiedlichen teils in Abhängigkeit stehenden Herausforderungen betroffen sind. Darüber hinaus konnte festgestellt werden, dass eine domänenunabhängige Forschung in Bezug auf die Herausforderungen eher selten ist – trotz eindeutig domänenübergreifender Herausforderungen. Weiter zeigte sich, dass die Forschung über die Anwendungsdomänen vor allem durch empirisch-behavioristische Forschungsmethoden geprägt ist. Auch entstammen z. B. Herausforderungen mit Nutzer-Bezug hauptsächlich der Anwendungsdomänen-Literatur.

Die gewonnenen Erkenntnisse über digitalisierter Produkte und deren Herausforderungen bilden zusammen mit dem gewonnen Wissen über die Domänen den Bezugsrahmen für die Entwicklung des Reifegradmodells digitalisierter Produkte der vorliegenden Arbeit.

Die Reifegradmodellierung entstammt originär dem Qualitätsmanagement und stellt daher ein mögliches Werkzeug zur Verbesserung der Qualität dar (siehe KAPITEL 4). Die Verbesserung wird hierbei mittels eines mehrstufigen Lösungskonzepts in Abhängigkeit zur Objekt-, Produkt- oder Prozessreife über verschiedenen Dimensionen erzielt. Der prominenteste Vertreter hierfür stellt das CMM(I) dar, das über die Prozessreife die Verbesserung von Softwarequalität anstrebt.

Reifegradmodelle können dabei sowohl zur deskriptiven Leistungsbewertung (Ist), zur präskriptiven Leistungssteigerung (Soll) oder zum komparativen Vergleich (Benchmarking) eingesetzt werden. Ein Hauptkritikpunkt an der Reifegradmodellierung stellt die oft fehlende oder unzureichende theoretische Fundierung dar. Deshalb wurden mittlerweile verschiedene Vorgehensmodelle und Gestaltungsprinzipien/-parameter für die systematische Entwicklung von Reifegradmodellen entwickelt. Diese wurden im Rahmen der vorliegenden Arbeit zusammengeführt, um so eine systematische und umfassende Methodengrundlage für die Reifegradmodellentwicklung zu erhalten.

Als Ausgangspunkt ist hierfür die Identifizierung und Analyse bisheriger Reifegradmodelle der Problemdomäne vorgesehen (siehe KAPITEL 5):

Während für einige Anwendungsdomänen keine Reifegradmodelle identifiziert werden konnten, stehen für andere Anwendungsdomänen wie Smart City multiple Modelle zur Verfügung. Für die Forschungsdomänen digitalisierter Produkte konnte wiederum nur ein Modell ermittelt werden.

Der inhaltliche Vergleich der Modelle deckte zahlreiche Überschneidungen auf, so dass die Möglichkeit für eine Zusammenführung der Modelle zu einem domänenübergreifenden bzw. -unabhängigen Modell gegeben war.

Aus der Analyse und dem Vergleich der Modelle ergab sich als Modellarchitektur ein rasterbasiertes Stufenmodell zur deskriptiven Leistungsbewertung mit fünf Reifegraden und sechs Gestaltungsdimensionen (siehe Tabelle 89). Während die Reifegrade die verschiedenen Stufen der Produktentwicklung abbilden, stellen die Dimensionen die Kategorisierung des Untersuchungsbereichs dar. Letzteres zeigt, dass bei der Entwicklung digitalisierter Produkte alle Unternehmensbereiche betroffen sind.

Reifegrade	Gestaltungsdimensionen
<ul style="list-style-type: none"> • Smart Product • Smart, connected Product • Aware smart, connected Product • Product System • System-of-Systems 	<ul style="list-style-type: none"> • Strategic and Financial Planning • Organization and Governance • Stakeholder Management • Technology Support and Communication • Product Design • Organizational Data and Analytics

Tabelle 89: Überblick über die Reifegrade und Gestaltungsdimensionen des DPMM

Für die inhaltliche Ausgestaltung des DPMM konnte ein breites Spektrum an Gestaltungszielen und -bereichen gewonnen werden (siehe KAPITEL 6):

Die Gestaltungsbereiche stellen Unterbereiche der Gestaltungsdimensionen dar und können als Bündel zusammengehöriger Merkmale und Maßnahmen verstanden werden. Diese Maßnahmen und Merkmale werden als Gestaltungsziele bezeichnet, da sie gleichzeitig eine Richtung für die Verbesserung vorgeben.

In multiplen Fällen konnten inhaltlich gleiche Gestaltungsziele aus mehreren Modellen unterschiedlicher Domänen identifiziert und zusammengeführt werden. Für jeden Gestaltungsbereich konnten darüber hinaus Gestaltungsziele aus mehr als einer Domäne abgeleitet werden. In einigen Fällen waren die Gestaltungsziele aus verschiedenen Domänen/Modellen nicht deckungsgleich, allerdings inhaltlich ähnlich wie der Einsatz von Datenbeständen zur Verbesserung der Entscheidungsfindung (Ursprungsdomäne: Smart City) und die Unterstützung der automatisierten

Entscheidungsfindung im operativen Betrieb (Ursprungsdomäne: Energy). Dies verdeutlicht erneut die Überschneidung der verschiedenen Domänen und die Möglichkeit einer domänenübergreifenden Forschung.

Gestaltungsziele, die nur einem Modell entstammten wurden ebenfalls in das DPMM überführt. Ihr Vorkommen in nur einem Modell bzw. einer Domäne bedeutet nicht, dass sie nicht auf andere Domänen übertragbar sind. In vereinzelt Beispielen konnte sogar das Gegenteil aufgezeigt werden. Vielmehr wurde hier das Problem der unterschiedlichen Abstraktionsgrade der Modelle und die dadurch entstehende Problematik der Zusammenführung der Modelle deutlich.

Für die Evaluation des DPMM wurde ein strategischer Ansatz für einen progressiven Evaluationspfad ausgearbeitet, um etwaige Probleme des Modells aufzuzeigen und die Nützlichkeit des Modells zu demonstrieren (siehe KAPITEL 7):

Hierfür wurden zwei formative, argumentativ-deduktive Evaluationsepisoden entworfen und ein Ausblick auf notwendige, zukünftige empirische und summative Evaluationsepisoden gegeben.

Die intermediäre Evaluation der Gestaltungsbereiche anhand der Herausforderungen digitalisierter Produkte wurde zur Prüfung der Content Validity im Rahmen des feinen Reifegradmodellkonzepts durchgeführt. Dies zeigte, dass die Gestaltungsbereiche des DPMM die sie betreffenden Herausforderungen in großen Teilen bereits abdeckten und nur vereinzelte Gestaltungsbereiche wie das Service Design oder Security and Privacy inhaltlich ergänzt werden mussten.

Die Anwendung des DPMM auf drei Fallstudien demonstrierte den Einsatz des Modells und evaluierte es gleichzeitig hinsichtlich Rigor, Risiko-Reduktion und Effizienz. Hierbei konnten keine weiteren inhaltlichen Lücken identifiziert werden, stattdessen wurden Probleme hinsichtlich der Modellnutzung deutlich. Während sich singuläre Projekte in das DPMM einordnen ließen, war dies für multiple unabhängige Projekte eines Unternehmens bzw. einer Einrichtung schwieriger. Hier muss zukünftig die Frage geklärt werden, inwiefern entweder die Modellnutzung eingeschränkt werden soll (z. B. auf ein Projekt oder einen Unternehmensbereich) oder das DPMM angepasst werden muss, um multiple unabhängige Projekte erfassen zu können. Darüber hinaus sollten komplexere Gestaltungsziele hinsichtlich einer detaillierteren Aufteilung überdacht werden, um eine etwaige gezieltere Einordnung zu ermöglichen.

Trotzdem konnten mithilfe des DPMM Empfehlungen für alle Fallstudien identifiziert werden und so das Potential des Modells demonstriert werden. Auch die Notwendigkeit einer domänenübergreifende Betrachtung aufgrund der in der Praxis

vorkommenden Überschneidung der Anwendungsdomänen konnte so verifiziert werden.

8.2 Kritische Reflexion und weiterer Forschungsbedarf der Arbeit

Die Konzeption und Entwicklung eines Reifegradmodells für digitalisierte Produkte unterlag verschiedenen Einschränkungen, die Einfluss auf die gewählten Vorgehensweisen in den einzelnen Teilabschnitten und damit auch auf das Ergebnisartefakt hatten. Daher folgt eine Zusammenführung der bereits in den jeweiligen Kapiteln durchgeführten kritischen Reflexion der (Teil-)Artefakte und gewählten Vorgehensweisen zur Erreichung eben dieser.

Zur Bildung des **Bezugsrahmens** (Kapitel 2 und 3) als auch für die **methodischen Grundlagen der Reifegradmodellierung** (Kapitel 4) wurde auf das Vorgehen der *narrativen Literaturanalyse* Rückgriff genommen. Während sich die Methode hierfür grundsätzlich eignet (siehe Kapitel 2.1), bedingt sie auch einige inhärente Nachteile:

Eine Verzerrung der Ergebnisse kann aufgrund der subjektiv-geprägten Wahl der Quellen durch die durchführende Person nicht vollständig ausgeschlossen werden. Dies kann dazu geführt haben, dass z. B. nicht alle Herausforderungen digitalisierter Produkte oder nicht alle Entwicklungsansätze und -hilfen der Reifegradmodellierung identifiziert werden konnten. Auch die Bewertung der Domänen auf Vollwertigkeit oblag daher der subjektiv-geprägten Einschätzung durch die durchführende Person, wodurch ggf. emergente Domänen nicht berücksichtigt wurden.

Dem wurde, z. B. im Rahmen der Analyse der konzeptionellen Komponenten digitalisierter Produkte und deren Herausforderungen, entgegengewirkt, indem sowohl Forschungs- als auch Anwendungsdomänen bei der Analyse berücksichtigt wurden. Da Forschungsdomänen mehrere Anwendungsdomänen subsumieren, konnten so auch Konzepte und Herausforderungen von Anwendungsdomänen berücksichtigt werden, die in der Suche nicht explizit berücksichtigt wurden.

Verschiedene systematische Literaturanalysen in den einzelnen Domänen könnten allerdings die Liste der Herausforderungen oder der konzeptuellen Modelle weiter ergänzen. Weiterführende Forschung könnte darüber hinaus die sich bereits andeutenden Abhängigkeiten der Herausforderungen untereinander auflösen oder sich mit einer möglichen Priorisierung der Herausforderungen befassen.

Die Zusammenführung verschiedener Ansätze und Konzepte der Reifegradmodellierung der vorliegenden Arbeit könnte wiederum ergänzt werden, indem z. B. die

Vorgehensmodelle um eine Methodenauswahl für die einzelnen Entwicklungsphasen ergänzt werden oder Vorgehensmodelle für die Gestaltung multidimensionaler Reifepfade für flexible Modelle entwickelt werden.

Zur **Identifizierung vorhandener Reifegradmodelle digitalisierter Produkte** (Kapitel 5) wurde auf eine *systematischen Literaturanalyse* mit anschließender *narrativer Literaturanalyse* Rückgriff genommen, um so den grundsätzlichen Nachteilen beider Methoden entgegenzuwirken. Dennoch kann aufgrund der gewählten Suchbegriffe und Datenbanken nicht ausgeschlossen werden, dass Modelle übersehen wurden.

Die sich daran anschließende Analyse der Reifegradmodelle der Domänen Smart City und Manufacturing basierte dabei nicht auf den identifizierten Modellen. Stattdessen wurden die Bewertung und das Ergebnis multipler (systematischer) Literaturanalysen zusammengeführt, die bereits die angestrebte Analyse durchgeführt hatten. Die Analysen konzentrierten sich darauf, die am weitest entwickelten Modelle der jeweiligen Domäne zu identifizieren.

Durch den Rückgriff auf die Literaturanalysen kann es jedoch sein, dass Modelle übersehen wurden, die zum Zeitpunkt der Publikation noch nicht veröffentlicht waren, aber dennoch einen besseren Ansatz bieten. Gleichzeitig kann argumentiert werden, dass die vorgeschlagenen Ansätze bzw. Modelle dadurch mehr Zeit für die Weiterentwicklung hatten und dadurch ggf. verbesserte Versionen im Vergleich zu den untersuchten Versionen vorhanden sind. Eine vergleichende Untersuchung diesbezüglich wurde allerdings nicht vorgenommen.

Stattdessen konnten verschiedene Schwächen der Modelle identifiziert werden, die es gilt bei zukünftigen Modellen oder Weiterentwicklungen dieser zu adressieren. Ergänzend wurden weitere Forschungspotentiale für die Reifegradmodellierung aufgedeckt wie die Entwicklung von nutzerzentrierten Gestaltungsprinzipien oder die Entwicklung von Hilfen bei der Parameter-Kombination.

Die **inhaltliche Ausgestaltung** des DPMM (Kapitel 6) erfolgte zwar anhand der Vorgaben der Vorgehensmodelle, diese waren jedoch nicht immer eindeutig, so dass sich verschiedene Komplikationen bei der Entwicklung ergaben:

Die aus den vorhandenen Reifegradmodellen identifizierten und zusammengeführten Gestaltungsziele stellen zwar die optimale Ausprägung in dem jeweiligen Modell dar, aber aufgrund von technologischen und gesellschaftlichen Weiterentwicklungen müssen diese zum aktuellen Zeitpunkt nicht mehr die tatsächlich beste Ausprägung sein.

Auch unterlagen die Gestaltungsziele einem unterschiedlichen Abstraktionsniveau und unterschiedlicher Terminologie, die eine Zusammenführung erschwerten. Bei nicht Eindeutigkeit wurden daher die Ziele einzeln und nicht zusammengeführt in das Modell übernommen. Dies vergrößerte daher ggf. unnötig das Modell, was einen operativen Modelleinsatz erschwert.

Ebenso war die Zuordnung der Umsetzungsgrade nicht konfliktfrei möglich. Die Vorgehensmodelle der Reifegradmodellentwicklung sehen eine Ausgestaltung der Reifegrade vor der inhaltlichen Modellausgestaltung vor. Dadurch wurden bei den Definitionen und Abgrenzungen der Reifegrade nicht alle für die Gestaltungsziele (und Gestaltungsbereiche) thematisch relevanten Aspekte berücksichtigt, die für eine konfliktfreie Einordnung notwendig gewesen wären. Es musste daher auf weiter Entscheidungshilfen Rückgriff genommen werden.

Aufgrund von begrenzten Kapazitäten musste darüber hinaus von etwaigen Abhängigkeiten der Gestaltungsbereiche oder Gestaltungsdimensionen untereinander abstrahiert werden, obwohl dies Einfluss auf eine etwaige Abhängigkeit bei der Reihenfolge der Umsetzung der Gestaltungsziele haben kann.

Die Reifegradmodelle der Anwendungsdomänen zeigten überdies Schwächen in der Inkludierung der Nutzerperspektive auf. Da die Modelle die Grundlage für das DPMM bildeten, betrifft dieser Aspekt das DPMM ebenfalls. Gleichzeitig sollte durch die Zusammenführung verschiedener Modelle das Problem weit weniger ausgeprägt sein als in den Ursprungsmodellen.

Daneben bieten auch die prozentualen Grenzen der Umsetzungsgrade weiteres Diskussionspotential für zukünftige Weiterentwicklungen, ebenso wie die bisherige Einordnung von innovativen oder nachhaltigen Gestaltungszielen auf dem höchsten Reifegrad.

Obwohl die fehlende Evaluation von Reifegradmodellen ein zentraler Kritikpunkt der Reifegradmodellierung darstellt, existieren nur eingeschränkt Hilfestellungen hierfür, z. B. hinsichtlich der Wahl und Kombination der Methoden. Für die **abschließende Modell-Evaluation** (Kapitel 7) wurde daher ergänzend auf allgemeingültige Hilfestellungen der Design Science Research Rückgriff genommen.

Die fehlenden Hilfestellungen der Reifegradmodellierung für die Evaluation sind allerdings insofern problematisch, da Reifegradmodelle sowohl Methoden als auch Modelle darstellen und dies kein Standardfall der allgemeinen Design-Science-Research-Forschung (oder der deutschsprachigen Wirtschaftsinformatikforschung)

ist. Die zukünftige Forschung der Reifegradmodellierung sollte daher entsprechende Hilfestellungen entwickeln, um damit auch der allgemeinen Kritik an mangelnden Evaluationen von Reifegradmodellen zu begegnen.

Die durchgeführten Evaluationen in der vorliegenden Arbeit konnten aufgrund verschiedener Faktoren (z. B. begrenzte Ressourcen) nur Teilbereiche des DPMM evaluieren. Dadurch konnte nur die Stufe eines theoretischen Modells erreicht werden, nicht jedoch eines empirischen Modells. Daher wurden entsprechende zukünftige Evaluationsepisoden soweit möglich entworfen, die eine Weiterentwicklung des DPMM begleiten und eine langfristige, vollständige Evaluation sicherstellen.

8.3 Fazit und Ausblick

Das übergeordnete Ziel dieser Forschungsarbeit war die Konsolidierung des bisherigen Wissens der Entwicklung digitalisierter Produkte aus den verschiedenen Anwendungs- und Forschungsdomänen zur Unterstützung eines einheitlichen Body of Knowledge. Hierfür wurde die folgende Leitfrage zur Konkretisierung des Ziels verfasst:

Leitfrage: Wie können Unternehmen den mannigfaltigen Anforderungen und Herausforderungen, die die Entwicklung und Einführung digitalisierte Produkte betreffen, begegnen?

Durch die Entwicklung eines domänenunabhängigen Reifegradmodells auf Basis des konsolidierten Wissens ausgewählter domänenabhängiger Reifegradmodelle konnte diese Frage im Detail beantwortet werden:

Das entwickelte, rasterbasierte Stufenmodell zur deskriptiven Leistungsbewertung beinhaltet Zielvorgaben für die Entwicklung digitalisierter Produkte in den Bereichen *Strategy and Financial Planning*, *Organization and Governance*, *Stakeholder Management*, *Organizational Processes*, *Technology Support and Communication*, *Product Design* und *Organizational Data and Analytics*. Die Bereiche stehen wiederum in Abhängigkeit zu den verschiedenen Entwicklungsstufen digitalisierter Produkte (Reifegrade) *Smart Product*; *Smart, connected Product*; *Aware smart, connected Product*; *Product System*; *System-of-Systems*.

Durch die Gestaltungsziele im Modell, die den Modellinhalt konstituieren, erhalten Unternehmen einerseits die Möglichkeit eine Ist-Zustandsbewertung der digitalisierten Produkte durchzuführen und andererseits Soll-Verbesserungs- bzw. Voraussetzungs-Vorgaben in Abhängigkeit zu der angestrebten Produktentwicklungsstufe zu erhalten.

Mit dem Abgleich der verschiedenen Herausforderungen digitalisierter Produkte konnten Lücken im DPMM identifiziert und behoben werden. Die Anwendung des Modells auf ausgewählten Fallstudien zeigte wiederum die grundsätzliche Nützlichkeit des Modells sowie Probleme der Modellanwendung auf. Daher wurden zukünftige Weiterentwicklungs- und Evaluationsschritte aufgezeigt. So sollte zukünftig beispielsweise die etwaige Domänenabhängigkeit einiger Gestaltungsziele überprüft, die Abhängigkeiten der Gestaltungsbereiche oder -dimensionen offengelegt oder das DPMM um Best Practices ergänzt werden.

Auch für die Forschung der Reifegradmodellierung konnten Verbesserungspotentiale aufgedeckt werden, die durch zukünftige Forschung adressiert werden sollten. Dies trifft dabei sowohl die Modellentwicklung als auch die Modellevaluation gleichermaßen:

Modellentwicklung: Die Reifegradmodellierung ist gekennzeichnet durch ein fehlendes einheitliches Vorgehen. Vorhandene Ansätze in diesem Bereich sind dabei durch fehlende oder offengehaltene Details bei der Ausgestaltung geprägt. Die seitens der Kritik geforderte Flexibilität von Reifegradmodellen (Konfigurationsmöglichkeiten, multiple Pfade) wird in den bisherigen Entwicklungsprozessmodellen und -konzepten nicht unterstützt. Auch für die Auswahl der verschiedenen Entwicklungsmethoden oder die Kombination der verschiedenen Modellparameter könnte die Forschung mehr Unterstützung bieten.

Modellevaluation: Im Bereich der Evaluation fehlt es analog an Hilfestellungen für die Wahl und Kombination von Evaluationsmethoden in Abhängigkeit des Reifegradmodelltyps. Dies ist insofern von Bedeutung, da ein häufiger Kritikpunkt an der Reifegradmodellierung die mangelnde Evaluation der Modelle ist. Dabei ist der Umstand zu berücksichtigen, dass es sich bei Reifegradmodellen sowohl um Modelle als auch um Methoden handelt, die entsprechend unterschiedliche Evaluationskriterien und -methoden bedingen.

Insgesamt betrachtet konnte durch die Entwicklung eines domänenunabhängigen Reifegradmodells für digitalisierte Produkte als Kernartefakt das Ziel dieser Forschungsarbeit erfüllt werden. Dadurch konnten ein wissenschaftlicher Erkenntnisgewinn und damit Beitrag zur Forschung digitalisierter Produkte erzielt werden. Das Modell stellt dabei eine Lösung der initial definierten Problemstellung dar und leistet durch seinen Unternehmensfokus auch einen Beitrag für die Praxis.

Durch die Entwicklung und Durchführung eines strukturierten Modellentwicklungs- und Evaluationsverfahren wurde der allgemeinen Kritik der Reifegradmodellierung weitestgehend begegnet und dabei ebenfalls ein Erkenntnisgewinn in Form von

Verbesserungspotentialen für die Forschung der Reifegradmodellentwicklung erzielt.

Die finale Version des DPMM findet sich in Anhang B.

Literatur

Aarts E, Encarnação J (2006) Into Ambient Intelligence. In: Aarts E, Encarnação J (Hrsg) True Visions. The Emergence of Ambient Intelligence. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, S 1–16

Aarts E, Ruyter B de (2009) New research perspectives on Ambient Intelligence. *Journal of Ambient Intelligence and Smart Environments* 1(1):5–14

Aas J, Barnes R, Case B, Durumeric Z, Eckersley P, Flores-López A, Halderman JA, Hoffman-Andrews J, Kasten J, Rescorla E, Schoen S, Warren B (2019) Let's Encrypt: An Automated Certificate Authority to Encrypt the Entire Web. In: Cavallaro L, Kinder J, Wang X, Katz J (Hrsg) Proceedings of the 2019 ACM SIGSAC Conference on Computer and Communications Security. 11.-15.11.2019, New York, NY, USA, S 2473–2487.
doi:10.1145/3319535.3363192

Abts D, Mülder W (2017) Grundkurs Wirtschaftsinformatik. Eine kompakte und praxisorientierte Einführung. 9., erweiterte und aktualisierte Auflage. Springer Vieweg, Wiesbaden. doi:10.1007/978-3-658-16379-2

Afonso RA, dos Santos Brito K, do Nascimento CH, Garcia VC, Álvaro A (2015) Brazilian smart cities: Using a Maturity Model to Measure and Compare Inequality in Cities. In: Zhang J, Kim Y (Hrsg) Proceedings of the 16th Annual International Conference on Digital Government Research. Digital Government and Wicked Problems: Climate Change, Urbanization, and Inequality. 27.-30. Mai 2015, New York, NY, USA, S 230–238. doi:10.1145/2757401.2757426

Ahlemann F, Schroeder C, Teuteberg F (2005) Kompetenz- und Reifegradmodelle für das Projektmanagement. Grundlagen, Vergleich und Einsatz, Osnabrück

Aier S, Riege C, Winter R (2008) Unternehmensarchitektur – Literaturüberblick und Stand der Praxis. *WIRTSCHAFTSINFORMATIK* 50(4):292–304. doi:10.1365/s11576-008-0062-9

Akdil KY, Ustundag A, Cevikcan E (2018) Maturity and Readiness Model for Industry 4.0 Strategy. In: Ustundag A, Cevikcan E (Hrsg) Industry 4.0. Managing The Digital Transformation. Springer International Publishing, Cham, Switzerland, S 60–94

Albrecht U-V, von Jan U (2016) Kapitel 1. Einführung und Begriffsbestimmungen. In: Albrecht U-V (Hrsg) Chancen und Risiken von Gesundheits-Apps (CHARISMHA), S 48–61

- Alegre U, Augusto JC, Clark T (2016)** Engineering context-aware systems and applications: A survey. *Journal of Systems and Software* 117:55–83. doi:10.1016/j.jss.2016.02.010
- Alizadeh T, Irajifar L (2018)** Gold Coast smart city strategy: informed by local planning priorities and international smart city best practices. *International Journal of Knowledge-Based Development* 9(2):153–173. doi:10.1504/IJKBD.2018.092708
- Allweyer T (2005)** Geschäftsprozessmanagement. Strategie, Entwurf, Implementierung, Controlling. W3L-Verl., Herdecke, Bochum
- Alpar P, Alt R, Bensberg F, Weimann P (2019)** Anwendungsorientierte Wirtschaftsinformatik. Strategische Planung, Entwicklung und Nutzung von Informationssystemen. 9., überarbeitete und aktualisierte Auflage. Springer Vieweg, Wiesbaden
- Alter S (2008)** Defining Information Systems as Work Systems: Implications for the IS Field. <https://repository.usfca.edu/at/22> (Abruf am 2020-03-24)
- Altuntas M, Uhl P (2015)** Industrielle Exzellenz in der Versicherungswirtschaft. Bestimmung der Industrialisierungsreife in einer zunehmend digitalisierten Welt. Springer Fachmedien Wiesbaden, Wiesbaden
- Andrade RO, Yoo SG, Tello-Oquendo L, Ortiz-Garces I (2020)** A Comprehensive Study of the IoT Cybersecurity in Smart Cities. *IEEE Access* 8:228922–228941. doi:10.1109/ACCESS.2020.3046442
- Angreani LS, Vijaya A, Wicaksono H (2020)** Systematic Literature Review of Industry 4.0 Maturity Model for Manufacturing and Logistics Sectors. *Procedia Manufacturing* 52:337–343. doi:10.1016/j.promfg.2020.11.056
- Ant M (2018)** Effizientes strategisches Management. Die 10 Phasen einer erfolgreichen Unternehmensentwicklung. Springer Gabler, Wiesbaden
- Ashton K (2009)** That 'Internet of Things' Thing. In the real world, things matter more than ideas. <https://www.rfidjournal.com/articles/pdf?4986> (Abruf am 2019-12-17)
- Atzori L, Iera A, Morabito G (2010)** The Internet of Things. A survey. *Computer Networks* 54(15):2787–2805. doi:10.1016/j.comnet.2010.05.010
- Atzori L, Iera A, Morabito G (2017)** Understanding the Internet of Things: definition, potentials, and societal role of a fast evolving paradigm. *Ad Hoc Networks* 56:122–140. doi:10.1016/j.adhoc.2016.12.004

Balzert H (2008) Lehrbuch der Softwaretechnik. Softwaremanagement. 2. Aufl. Spektrum Akad. Verl., Heidelberg

Becker J, Knackstedt R, Pöppelbuß J (2009) Entwicklung von Reifegradmodellen für das IT-Management - Vorgehensmodell und praktische Anwendung. WIRTSCHAFTSINFORMATIK 51(3):249–260. doi:10.1007/s11576-009-0167-9

Beckmann H (2019) Stammdatenamangement. <https://wilex.de/index.php/lexikon/informations-daten-und-wissensmanagement/informationsmanagement/informationsmanagement-aufgaben-des/stammdatenmanagement/> (Abruf am 2023-05-11)

Berger S, Bitzer M, Häckel B, Voit C (2020) Approaching Digital Transformation - Development of a Multi-Dimensional Maturity Model. In: ECIS 2020 Proceedings. June 15-17, 2020. https://aisel.aisnet.org/ecis2020_rp/181 (Abruf am 2023-09-15)

Bertolini M, Esposito G, Neroni M, Romagnoli G (2019) Maturity Models in Industrial Internet: a Review. Procedia Manufacturing 39:1854–1863. doi:10.1016/j.promfg.2020.01.253

Biberoglu E, Haddad H (2002) A Survey of Industrial Experiences with CMM and the Teaching of CMM Practices. J. Comput. Sci. Coll. (Journal of Computing Sciences in Colleges) 18(2):143–152

Bichler M, Frank U, Avison D, Malaurent J, Fettke P, Hovorka D, Krämer J, Schnurr D, Müller B, Suhl L, Thalheim B (2016) Theories in Business and Information Systems Engineering. Business & Information Systems Engineering 58(4):291–319. doi:10.1007/s12599-016-0439-z

Bick M, Kummer T-F (2010) Ambient Intelligence. Business & Information Systems Engineering 2(5):311–314. doi:10.1007/s12599-010-0117-5

Bieger T, Reinhold S (2011) Das wertbasierte Geschäftsmodell - Ein aktualisierter Strukturierungsansatz. In: Bieger T, Knyphausen-Aufseß D zu, Krys C (Hrsg) Innovative Geschäftsmodelle. Springer, Berlin, Heidelberg, S 13–70

Boardman J, Sauser B (2006) System of Systems - the meaning of of. In: IEEE (Hrsg) Proceedings of the 2006 IEEE/SMC International Conference on System of Systems Engineering. April 24-26, 2006, S 118–123. doi:10.1109/SYBOSE.2006.1652284

- Boell SK, Cecez-Kecmanovic D (2014)** A Hermeneutic Approach for Conducting Literature Reviews and Literature Searches. *Communications of the Association for Information Systems* 34.
<http://aisel.aisnet.org/cais/vol34/iss1/12/> (Abruf am 2018-02-20)
- Boell SK, Cecez-Kecmanovic D (2015a)** On being 'systematic' in literature reviews in IS. *Journal of Information Technology* 30(2):161–173
- Boell SK, Cecez-Kecmanovic D (2015b)** What is an Information System? In: *Proceedings of the 48th Hawaii International Conference on System Sciences*. 05.-08. Januar 2015, S 4959–4968. doi:10.1109/HICSS.2015.587
- Böhm T, Leimeister JM, Möslin K (2014)** Service-Systems-Engineering. Ein zukünftiges Forschungsgebiet der Wirtschaftsinformatik. *WIRTSCHAFTSINFORMATIK* 56(2):83–90. doi:10.1007/s11576-014-0406-6
- Borgia E (2014)** The Internet of Things vision: Key features, applications and open issues. *Computer Communications* 54:1–31.
doi:10.1016/j.comcom.2014.09.008
- Brandt M (2021)** So smart sind Deutschlands Haushalte. Smart Home. <https://de.statista.com/infografik/3105/anzahl-der-smart-home-haushalte-in-deutschland/> (Abruf am 2023-09-15)
- Bretzke W-R (1980)** Der Problembezug von Entscheidungsmodellen. Zugl.: Köln, Univ., Habil.-Schr., 1978. Mohr, Tübingen
- Brogt T, Schiller B, Schuler JPM, Eicker S (2017)** The Role of Quality in Sociotechnical Systems. In: *Proceedings of the 23rd Americas Conference on Information Systems (AMCIS 2017)*. August 10-12, 2016
- Broy M, Kuhmann M (2013)** Projektorganisation und Management im Software Engineering. Springer Vieweg, Berlin, Heidelberg
- Broy M, Schmidt A (2014)** Challenges in Engineering Cyber-Physical Systems. *Computer* 47(2):70–72. doi:10.1109/MC.2014.30
- Carvalho RM, Castro Andrade RM de, Oliveira KM de, Sousa Santos I de, Bezerra CIM (2017)** Quality characteristics and measures for human–computer interaction evaluation in ubiquitous systems. *Software Quality Journal* 25(3):743–795. doi:10.1007/s11219-016-9320-z
- Chen H (2017)** Applications of Cyber-Physical System: A Literature Review. *Journal of Industrial Integration and Management* 02(03).
doi:10.1142/S2424862217500129

Christiansen S-K, Gausemeier J (2010) Klassifikation von Reifegradmodellen. ZWF Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb 105(4):344–349. doi:10.3139/104.110290

City of Gold Coast (2019) Gold Coast Transport Strategy 2031. Mid-Life Review Summary. <https://www.goldcoast.qld.gov.au/files/sharedassets/public/pdfs/policies-plans-and-strategies/transport-strategy-mid-life-review.pdf> (Abruf am 2023-09-15)

Clarke RY (2013) Smart Cities and the Internet of Everything: The Foundation for Delivering Next-Generation Citizen Services. White Paper. Sponsored by: Cisco. https://www.cisco.com/c/dam/en_us/solutions/industries/docs/scc/ioe_citizen_s_vcs_white_paper_idc_2013.pdf (Abruf am 2021-06-16)

Cleven A, Gubler P, Hüner KM (2009) Design alternatives for the evaluation of design science research artifacts. In: Vaishanvi V, Purao S (Hrsg) Proceedings of DESRIST '09. 2009, New York, Paper 19. doi:10.1145/1555619.1555645

CMMI Product Team (2011) CMMI für Entwicklung, Version 1.3. SEI-sanctioned GERMAN translation of CMMI-DEV, V1.3. Technical Report. https://resources.sei.cmu.edu/asset_files/WhitePaper/2011_019_001_28795.pdf (Abruf am 2021-03-15)

Colli M, Madsen O, Berger U, Møller C, Wæhrens BV, Bockholt M (2018) Contextualizing the outcome of a maturity assessment for Industry 4.0. IFAC-PapersOnLine 51(11):1347–1352. doi:10.1016/j.ifacol.2018.08.343

Cook DJ, Augusto JC, Jakkula VR (2009) Ambient intelligence: Technologies, applications, and opportunities. Pervasive and Mobile Computing 5(4):277–298. doi:10.1016/j.pmcj.2009.04.001

Cooper HM (1988) Organizing knowledge syntheses: A taxonomy of literature reviews. Knowledge in Society 1(1):104–126. doi:10.1007/BF03177550

Crespo Márquez A, Macchi M, Parlikad AK (2020) Fundamental Concepts and Framework. Chapter 1. In: Crespo Márquez A, Macchi M, Parlikad AK (Hrsg) Value Based and Intelligent Asset Management. Mastering the Asset Management Transformation in Industrial Plants and Infrastructures. Springer Nature Switzerland AG, Cham, Switzerland, S 3–38. doi:10.1007/978-3-030-20704-5_1

Creswell JW (2009) Research design. Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches. 3. ed.,. Sage, Los Angeles, Calif.

de Bruin T, Freeze R, Kulkarni U, Rosemann M (2005) Understanding the Main Phases of Developing a Maturity Assessment Model. In: ACIS 2005 Proceedings. 29.11-2.12.2005. <https://aisel.aisnet.org/acis2005/109> (Abruf am 2023-09-15)

De Carolis A, Macchi M, Negri E, Terzi S (2017) Guiding Manufacturing Companies Towards Digitalization. A methodology for supporting manufacturing companies in defining their digitalization roadmap. In: 2017 International Conference on Engineering, Technology and Innovation (ICE/ITMC). 27.-29. Juni 2017, S 487–495. doi:10.1109/ICE.2017.8279925

De Moya J-F, Pallud J (2017) Quantified Self: A Literature Review Based on the Funnel Paradigm. In: Proceedings of the 25th European Conference on Information Systems (ECIS 2017). June 5-10, 2017, S 1678–1694. http://aisel.aisnet.org/ecis2017_rp/108/ (Abruf am 2017-08-31)

Degerli M (2020) Practical Suggestions to Successfully Adopt the CMMI V2.0 Development for Better Process, Performance, and Products. In: IEEE (Hrsg) 2020 5th International Conference on Computer Science and Engineering (UBMK). 09.-11. September 2020, S 126–129. doi:10.1109/UBMK50275.2020.9219438

Dern G (2009) Management von IT-Architekturen. Leitlinien für die Ausrichtung, Planung und Gestaltung von Informationssystemen. 3. Auflage. Vieweg+Teubner, Wiesbaden

Destatis - Statistisches Bundesamt (2021a) Pressemitteilung Nr. 078 vom 22. Februar 2021. https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2021/02/PD21_078_639.html (Abruf am 2023-09-15)

Destatis - Statistisches Bundesamt (2021b) Wirtschaftsrechnungen. Private Haushalte in der Informationsgesellschaft - Nutzung von Informations- und Kommunikationstechnologien 2020. https://www.statistischebibliothek.de/mir/receive/DEHeft_mods_00133269 (Abruf am 2023-09-15)

Destatis - Statistisches Bundesamt (2021c) Zahl der Woche Nr. 27 vom 6. Juli 2021. https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/Zahl-der-Woche/2021/PD21_27_p002.html (Abruf am 2023-09-15)

Dey AK (2001) Understanding and Using Context. Personal and Ubiquitous Computing 5(1):4–7. doi:10.1007/s007790170019

Dey AK, Abowd GD (1999) Towards a Better Understanding of Context and Context-Awareness. Technical Report.

<https://smartech.gatech.edu/handle/1853/3389> (Abruf am 2018-09-11)

Dey AK, Abowd GD, Salber D (2001) A Conceptual Framework and a Toolkit for Supporting the Rapid Prototyping of Context-Aware Applications. *Human-Computer Interaction* 16(2-4):97–166. doi:10.1207/S15327051HCI16234_02

DIN EN ISO 9000:2015 (2015) Qualitätsmanagementsysteme - Grundlagen und Begriffe (ISO 9000:2015); Deutsche und Englische Fassung EN ISO 9000:2015. Beuth Verlag GmbH, Berlin. doi:10.31030/2325650

Dinter B (2019) Open Data. <https://wi-lex.de/index.php/lexikon/informations-daten-und-wissensmanagement/datenmanagement/datenmanagement-konzepte-des/open-data/> (Abruf am 2023-05-11)

Dourish P (2001) Seeking a Foundation for Context-Aware Computing. *Human-Computer Interaction* 16(2-4):229–241. doi:10.1207/S15327051HCI16234_07

Dudenredaktion (o. J.a) "Artefakt, das" auf Duden online. <https://www.duden.de/node/8862/revision/1351089> (Abruf am 2023-07-03)

Dudenredaktion (o. J.b) "Fähigkeit, die" auf Duden online. <https://www.duden.de/node/44260/revision/1317237> (Abruf am 2023-07-03)

Dudenredaktion (o. J.c) "Modell, das" auf Duden online. <https://www.duden.de/node/98181/revision/1313228> (Abruf am 2023-07-03)

Dudenredaktion (o. J.d) "Objekt, das" auf Duden online. <https://www.duden.de/node/104797/revision/1299465> (Abruf am 2023-07-03)

Dudenredaktion (o. J.e) "Produkt, das" auf Duden online. <https://www.duden.de/node/115072/revision/1406177> (Abruf am 2023-07-03)

Dudenredaktion (o. J.f) "Reife, die" auf Duden online. <https://www.duden.de/node/120072/revision/1272495> (Abruf am 2023-07-03)

Dudenredaktion (o. J.g) "Roadmap" auf Duden online. <https://www.duden.de/node/122454/revision/122490> (Abruf am 2021-08-19)

Dudenredaktion (o. J.h) "System, das" auf Duden online. <https://www.duden.de/node/178366/revision/1456195> (Abruf am 2023-07-03)

Ebling MR, Want R (2017) Satya Revisits "Pervasive Computing: Vision and Challenges". *IEEE Pervasive Computing* 16(3):20–23. doi:10.1109/MPRV.2017.2940965

Ehsan N, Perwaiz A, Arif J, Mirza E, Ishaque A (2010) CMMI / SPICE based process improvement. In: IEEE (Hrsg) 2010 IEEE International Conference on Management of Innovation & Technology. 02.-05. Juni 2010, S 859–862.

doi:10.1109/ICMIT.2010.5492803

European Commission (2021) Horizon Europe. The EU Research & Innovation Programme 2021-27. Presentation outlining Horizon Europe. https://research-and-innovation.ec.europa.eu/system/files/2022-06/ec_rtd_he-investing-to-shape-our-future_0.pdf (Abruf am 2023-09-15)

Eurostat (2020) Internet der Dinge - Verwendung.

https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/ISOC_IIoT_USE__custom_554554/default/table?lang=de (Abruf am 2022-08-26)

Evans D (2012) The Internet of Everything. How More Relevant and Valuable Connections Will Change the World. Point of View.

https://www.cisco.com/c/dam/global/en_my/assets/ciscoinnovate/pdfs/IoE.pdf (Abruf am 2023-09-15)

Felch V, Asdecker B, Sucky E (2019) Maturity Models in the Age of Industry 4.0 – Do the Available Models Correspond to the Needs of Business Practice? In: Bui T (Hrsg) Proceedings of the 52nd Hawaii International Conference on System Sciences. January 8-11, 2019, S 5165–5174. <http://hdl.handle.net/10125/59953> (Abruf am 2021-02-23). doi:10.24251/HICSS.2019.620

Ferstl OK, Sinz EJ (2013) Grundlagen der Wirtschaftsinformatik. 7th ed. De Gruyter, Berlin/Boston

Filho MF, Liao Y, Loures ER, Canciglieri O (2017) Self-Aware Smart Products: Systematic Literature Review, Conceptual Design and Prototype Implementation. *Procedia Manufacturing* 11:1471–1480.

doi:10.1016/j.promfg.2017.07.278

Firmanayah HS, Supangkat SH, Arman AA, Adhitya R (2017) Searching smart city in Indonesia through maturity model analysis. (Case study in 10 cities). In: 2017 International Conference on ICT For Smart Society (ICISS). 18.-19. September 2017, S 1–6. doi:10.1109/ICTSS.2017.8288880

Fischer N, Smolnik S (2013) The Impact of Mobile Computing on Individuals, Organizations, and Society - Synthesis of Existing Literature and Directions for Future Research. In: HICSS '13 Proceedings. 07.01.13 - 10.01.13, Washington, DC, USA, S 1082–1091. doi:10.1109/HICSS.2013.522

Fleisch E, Weinberger M, Wortmann F (2015) Geschäftsmodelle im Internet der Dinge. Schmalenbachs Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung (zfbf) 67(4):444–465. doi:10.1007/BF03373027

Flore A, Marx Gómez J (2020) Development and comparison of migration paths for smart grids using two case studies. Heliyon 6(9):1-18. doi:10.1016/j.heliyon.2020.e04913

Frank U (1998) Die Evaluation von Artefakten: Eine zentrale Herausforderung der Wirtschaftsinformatik. In: Heinrich LJ, Häntschel I (Hrsg) Tagungsband des Workshops "Evaluation und Evaluationsforschung in der Wirtschaftsinformatik". Handbuch für Praxis Lehre und Forschung. Oldenbourg, Linz

Frank U (2007a) Ein Vorschlag zur Konfiguration von Forschungsmethoden in der Wirtschaftsinformatik. In: Lehner F, Zelewski S (Hrsg) Wissenschaftstheoretische Fundierung und wissenschaftliche Orientierung der Wirtschaftsinformatik. Gito, Berlin, S 158–185

Frank U (2007b) Evaluation of Reference Models. In: Fettke P, Loos P (Hrsg) Reference Modeling for Business Systems Analysis. Idea Group Publishing, Hershey, S 118–141

Fraser P, Moultrie J, Gregory M (2002) The use of maturity models/grids as a tool in assessing product development capability. In: IEEE International Engineering Management Conference. 18-20 Aug. 2002, S 244–249. doi:10.1109/IEMC.2002.1038431

Frick N (2012) Identification of Design Elements for a Maturity Model for Interorganizational Integration: A Comparative Analysis. In: BLED 2012 Proceedings, S 185–196. <http://aisel.aisnet.org/bled2012/10> (Abruf am 2023-09-15)

Friedewald M (2008) Ubiquitous Computing: Ein neues Konzept der Mensch-Computer-Interaktion und seine Folgen. In: Helliger HD (Hrsg) Mensch-Computer-Interface. Zur Geschichte und Zukunft der Computerbedienung. 1. Auflage. transcript-Verlag, S 259–280

Friedewald M, Raabe O, Georgieff P, Koch DJ, Neuhäusler P (2010) Ubiquitäres Computing. Das "Internet der Dinge " - Grundlagen, Anwendungen, Folgen. Edition Sigma, Berlin

Friedrich T, Schlauderer S, Weidinger J, Raab M (2017) On the Research Paradigms and Research Methods Employed in the BISE Journal – A Ten-Year

Update. In: Leimeister JM, Brenner W (Hrsg) Proceedings der 13. Internationalen Tagung Wirtschaftsinformatik (WI 2017). February 12-15, 2017, S 1111–1125

Fujimoto T, Kutami M, Yamamoto J, Zhou Y (2018) A study on application and effective use of evaluation method of smart community infrastructure using maturity model. In: 2018 IEEE International Smart Cities Conference (ISC2). 16.-19. September 2018, S 1–6. doi:10.1109/ISC2.2018.8656973

Gabriel P, Bovenschulte M, Hartmann E, Groß W, Strese H, Bayarou KM, Haisch M, Mattheß M, Brune C, Strauss H, Kelter H, Oberweis R (2006) Pervasive computing: Entwicklungen und Auswirkungen. SecuMedia Verlags-GmbH, Ingelheim, Hannover, Ingelheim

Gabriel R (2016) Anwendungssystem. <https://www.encyklopaedie-der-wirtschaftsinformatik.de/wi-encyklopaedie/lexikon/uebergreifendes/Kontext-und-Grundlagen/Anwendungssystem/index.html/?searchterm=anwendungssystem> (Abruf am 2020-04-03)

Garvin DA (1984) What Does "Product Quality" Really Mean? Sloan management review 26(1):25–43

Gassmann O, Frankenberger K, Choudury M (2020) Geschäftsmodelle entwickeln. 55 innovative Konzepte mit dem St. Galler Business Model Navigator. Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG, München. doi:10.3139/9783446467620

Gideon J, Dagli CH, Miller AK (2005) Taxonomy of Systems-of-Systems. In: Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) (Hrsg) PROCEEDINGS CSER 2005. March 23-25, 2005, Stevens Institute of Technology, S 356–363

Gottschalk P (2009) Maturity levels for interoperability in digital government. Government Information Quarterly 26(1):75–81. doi:10.1016/j.giq.2008.03.003

Gregor S, Hevner AR (2013) Positioning and Presenting Design Science Research for Maximum Impact. MIS Quarterly 37(2):337–355

Grösser S (2018) Geschäftsmodell. <https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/geschaeftsmodell-52275/version-275417> (Abruf am 2021-08-19)

Guggenberger TM, Möller F, Haarhaus T, Gür I, Otto B (2020) Ecosystem Types in Information Systems. In: ECIS 2020 Proceedings. June 15-17, 2020. https://aisel.aisnet.org/ecis2020_rp/45 (Abruf am 2020-06-15)

Gunes V, Peter S, Givargis T, Vahid F (2014) A Survey on Concepts, Applications, and Challenges in Cyber-Physical Systems. *KSII Transactions on Internet and Information Systems* 8(12). doi:10.3837/tiis.2014.12.001

Guth J, Breitenbucher U, Falkenthal M, Leymann F, Reinfurt L (2016) Comparison of IoT platform architectures: A field study based on a reference architecture. In: *Cloudification of the Internet of Things (CIoT)*. 23.-25. November 2016, S 1–6. doi:10.1109/CIOT.2016.7872918

Guthery EE, Eck RD (1990) Evaluation measures for a model base for an information system architecture DSS. In: *Twenty-Third Annual Hawaii International Conference on System Sciences*. 2-5 Jan. 1990, S 184–191. doi:10.1109/HICSS.1990.205255

Gutiérrez C, Garbajosa J, Diaz J, Yague A (2013) Providing a Consensus Definition for the Term "Smart Product". In: *20th Annual IEEE International Conference and Workshops on Engineering of Computer Based Systems (ECBS)*. 22.-24. April 2013, S 203–211. doi:10.1109/ECBS.2013.26

Hansen HR, Mendling J, Neumann G (2019) *Wirtschaftsinformatik. Grundlagen und Anwendungen*. 12. Auflage. De Gruyter, Berlin, Boston

Haouzi HE, Thomas A, Charpentier P (2013) Toward adaptive modelling & simulation for IMS: The Adaptive Capability Maturity Model and future challenges. *IFAC Proceedings Volumes* 46(7):174–179. doi:10.3182/20130522-3-BR-4036.00104

Heinrich LJ (2012) *Geschichte der Wirtschaftsinformatik. Entstehung und Entwicklung einer Wissenschaftsdisziplin*. 2. Aufl. Springer, Berlin

Heinrich LJ, Heinzl A, Riedl R (2011) *Wirtschaftsinformatik. Einführung und Grundlegung*. 4. Aufl. Springer, Berlin, Heidelberg. doi:10.1007/978-3-642-15426-3

Heinrich LJ, Stelzer D (2011) *Informationsmanagement. Grundlagen, Aufgaben, Methoden*. 10. Auflage. Oldenbourg Wissenschaftsverlag, München. doi:10.1524/9783486714593

Helgesson YYL, Höst M, Weyns K (2012) A review of methods for evaluation of maturity models for process improvement. *Journal of Software: Evolution and Process* 24(4):436–454. doi:10.1002/smr.560

Herterich MM, Mikusz M (2016) Looking for a Few Good Concepts and Theories for Digitized Artifacts and Digital Innovation in a Material World. In: *ICIS 2016 PROCEEDINGS*.

<http://aisel.aisnet.org/icis2016/DigitalInnovation/Presentations/9/> (Abruf am 2017-01-22)

Hesse W, Barkow G, von Braun H, Kittlaus H-B, Scheschonk G (1994)

Terminologie der Softwaretechnik, ein Begriffssystem für die Analyse und Modellierung von Anwendungssystemen, Teil 1, Begriffssystematik und Grundbegriffe. Informatik-Spektrum 17(2):39–47

Hevner AR, March ST, Park J, Ram S (2004) Design Science in Information Systems Research. MIS Quarterly 28(1):75–105

Holler M, Herterich M, Dremel C, Uebernicket F, Brenner W (2018)

Towards a method compendium for the development of digitised products - findings from a case study. International Journal of Product Lifecycle Management 11(2):131–153. doi:10.1504/IJPLM.2018.092825

Hong J, Suh E, Kim S-J (2009) Context-aware systems: A literature review and classification. Expert Systems with Applications 36(4):8509–8522. doi:10.1016/j.eswa.2008.10.071

Hu J, Gao S (2019) Research and Application of Capability Maturity Model for Chinese Intelligent Manufacturing. Procedia CIRP 83:794–799. doi:10.1016/j.procir.2019.05.013

ISTAG - Information Society Technologies Advisory Group (1999)

Orientations for Workprogramme 2000. Draft report (August 1999), Luxembourg. <https://publications.europa.eu/s/jiWy> (Abruf am 2018-10-30)

ISTAG - Information Society Technologies Advisory Group (2000)

Orientations for Workprogramme 2000 and beyond, Luxembourg. <https://publications.europa.eu/s/jiWx> (Abruf am 2018-10-31)

ISTAG - Information Society Technologies Advisory Group (2005)

Ambient Intelligence: from Vision to Reality. In: Riva G, Vatalaro F, Davide F, Alcañiz M (Hrsg) Ambient intelligence. The evolution of technology, communication and cognition towards the future of human-computer interaction. IOS Press, Amsterdam, Fairfax, VA, S 45–68

ISO 55000:2014 (2014) Asset management — Overview, principles and terminology

ITU - International Telecommunication Union (2005) ITU Internet Reports

2005: The Internet of Things, World Summit on the Information Society, Tunis. <http://handle.itu.int/11.1002/pub/800eae6f-en> (Abruf am 2023-09-15)

ISO/IEC/IEEE 42010:2011 (2011) Systems and software engineering - Architecture description. IEEE, Piscataway, NJ, USA [35.080 - Software. <https://ieeexplore.ieee.org/servlet/opac?punumber=6129465> (Abruf am 2020-05-28)

ISO/IEC 25012:2008(E) (2008) Software engineering — Software product Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE) — Data quality model, Switzerland

ISO/IEC 25010:2011(E) (2011) Systems and software engineering — Systems and software Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE) — System and software quality models, Switzerland

ISO/IEC 25000:2014(E) (2014) Systems and software engineering — Systems and software Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE) — Guide to SQuaRE(25000:2014), Switzerland

ISO/IEC 33001:2015 (2015) ISO/IEC 33001:2015(en) Information technology — Process assessment — Concepts and terminology. <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso-iec:33001:ed-1:v1:en> (Abruf am 2023-07-03)

ISO/IEC/IEEE 24765:2017(E) (2017) Systems and software engineering - Vocabulary. ISO copyright office, Switzerland

ISO/TS 25011:2017(E) (2017) Information technology — Systems and software quality requirements and evaluation (SQuaRE) — Service quality models, Switzerland

Juniawan MA, Sandhyaduhita P, Purwandari B, Yudhoatmojo SB, Dewi MAA (2017) Smart government assessment using Scottish Smart City Maturity Model: A case study of Depok city. In: 2017 International Conference on Advanced Computer Science and Information Systems (ICACISIS). 28.-29. Oktober 2017, S 99–104. doi:10.1109/ICACISIS.2017.8355018

Khanjanasthiti I, Chandrasekar KS, Bajracharya B (2021) Making the Gold Coast a Smart City—An Analysis. Sustainability 13(19). doi:10.3390/su131910624

King JL, Kraemer KL (1984) Evolution and organizational information systems. an assessment of Nolan's stage model. Communications of the ACM 27(5):466–475. doi:10.1145/358189.358074

Kitchenham B, Charters S (2007) Guidelines for performing Systematic Literature Reviews in Software Engineering. Version 2.3.

https://www.elsevier.com/_data/promis_misc/525444systematicreviewsguide.pdf (Abruf am 2017-03-16)

Kleinrock L (1995) Nomadic computing - an opportunity. *ACM SIGCOMM Computer Communication Review* 25(1):36–40. doi:10.1145/205447.205450

Kleinrock L (1997) Nomadic computing (keynote address). *Telecommunication Systems* 7(1-3):5–15. doi:10.1023/A:1019199623715

Klötzer C, Pflaum A (2017) Toward 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 2017*. Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS-50), 2017. January 4-7, 2017, S 4210–4219

Kneuper R (2007) CMMI. Verbesserung von Software- und Systementwicklungsprozessen mit Capability Maturity Model Integration (CMMI-DEV). 3., Auflage. dpunkt-Verl., Heidelberg

Knight M, Widergren S, Mater J, Montgomery A (2013) Maturity model for advancing smart grid interoperability. In: *Proceedings of 2013 Innovative Smart Grid Conference (ISGT)*. 24.-27. Februar 2013, S 1–6. doi:10.1109/ISGT.2013.6497915

Kopaneva I, Sias PM (2015) Lost in Translation: Employee and Organizational Constructions of Mission and Vision. *Management Communication Quarterly* 29(3):358–384. doi:10.1177/0893318915581648

Korachi Z, Bounabat B (2018) Data Driven Maturity Model for Assessing Smart Cities. In: *Association for Computing Machinery (Hrsg) ICSDE'18: Proceedings of the 2nd International Conference on Smart Digital Environment*. October 18-20, 2018, New York, S 140–147

Korachi Z, Bounabat B (2019) Towards a Platform for Defining and Evaluating Digital Strategies for Building Smart Cities. In: *2019 3rd International Conference on Smart Grid and Smart Cities (ICSGSC)*. 25.-28. Juni 2019, S 32–40. doi:10.1109/ICSGSC.2019.00-22

Krcmar H (1990) Bedeutung und Ziele von Informationssystem-Architekturen. *WIRTSCHAFTSINFORMATIK* 32(5):395–402

Krüger W (2005) Organisation. In: *Bea FX, Friedl B, Schweitzer M, Krüger W, et al. (Hrsg) Allgemeine Betriebswirtschaftslehre. Bd. 2: Führung*. 9., neubearbeitete und erweiterte Auflage. Lucius & Lucius, Stuttgart, S 140–175

- Kuhlenkötter B, Wilkens U, Bender B, Abramovici M, Süße T, Göbel J, Herzog M, Hypki A, Lenkenhoff K (2017)** New Perspectives for Generating Smart PSS Solutions – Life Cycle, Methodologies and Transformation. *Procedia CIRP* 64:217–222. doi:10.1016/j.procir.2017.03.036
- Ladd DA, Datta A, Sarker S, Yu Y (2010)** Trends in Mobile Computing within the IS Discipline: A Ten-Year Retrospective. *Communications of the Association for Information Systems* 27(1). <https://aisel.aisnet.org/cais/vol27/iss1/17> (Abruf am 2018-09-28)
- Lahrmann G, Marx F, Mettler T, Winter R, Wortmann F (2011)** Inductive Design of Maturity Models: Applying the Rasch Algorithm for Design Science Research. In: Jain H, Sinha AP, Vitharana P (Hrsg) *Service-Oriented Perspectives in Design Science Research. DESRIST 2011*. May 5-6, 2011, Berlin, Heidelberg, S 176–191. doi:10.1007/978-3-642-20633-7_13
- Lambert S (2015)** The Importance of Classification to Business Model Research. *Journal of Business Models* 3(1):49–61. doi:10.5278/ojs.jbm.v3i1.1045
- Lasrado LA, Vatrapu R, Andersen KN (2015)** Maturity Models Development in IS Research: A Literature Review. *Selected Papers of the IRIS(6)*. <http://aisel.aisnet.org/iris2015/6> (Abruf am 2020-11-12)
- Laudon KC, Laudon JP, Schoder D (2010)** *Wirtschaftsinformatik. Eine Einführung*. 2. Auflage. Pearson Deutschland, München
- Lazar A, Koehler C, Tanenbaum J, Nguyen DH (2015)** Why we use and abandon smart devices. In: Mase K, Langheinrich M, Gatica-Perez D, Gellersen H, et al. (Hrsg) *Proceedings of UbiComp 2015*. Sep 2015, New York, S 635–646. doi:10.1145/2750858.2804288
- Lee EA (2015)** The past, present and future of cyber-physical systems: a focus on models. *Sensors (Basel, Switzerland)* 15(3):4837–4869. doi:10.3390/s150304837
- Legner C, Eymann T, Hess T, Matt C, Böhm T, Drews P, Mädche A, Urbach N, Ahlemann F (2017)** Digitalization: Opportunity and Challenge for the Business and Information Systems Engineering Community. Discussion. *Business & Information Systems Engineering* 59(4):301–308. doi:10.1007/s12599-017-0484-2

Leimeister JM (2015) Einführung in die Wirtschaftsinformatik. 12., vollst. neu überarb. u. ak. Aufl. 2015. Springer Gabler, Berlin, Heidelberg.

doi:10.1007/978-3-540-77847-9

Lerch C, Gotsch M (2015) Digitalized Product-Service Systems in Manufacturing Firms: A Case Study Analysis. *Research-Technology Management* 58(5):45–52. doi:10.5437/08956308X5805357

Levy Y, Ellis TJ (2006) A systems approach to conduct an effective literature review in support of information systems research. *Informing Science: International Journal of an Emerging Transdiscipline* 9(1):181–212

Li I, Dey A, Forlizzi J (2010) A Stage-Based Model of Personal Informatics Systems. In: CHI 2010 - we are HCI. Conference proceedings and extended abstracts ; the 28th Annual CHI Conference on Human Factors in Computing Systems. April 10 - 15, 2010, New York, NY, S 557–566

Lies J (2018) Leadership.

<https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/leadership-54083/version-277137>
(Abruf am 2021-08-18)

Lim C, Baba K, Iijima J (2019) Developing a Capability Maturity Model for Smart Tourism. In: Xu D, Jiang J, Kim H-W (Hrsg) PACIS 2019 Proceedings. Secure ICT Platform for the 4th Industrial Revolution. 08.-12.07.2019.

<https://aisel.aisnet.org/pacis2019/189> (Abruf am 2021-03-05)

Lim C, Maglio PP (2018) Data-Driven Understanding of Smart Service Systems Through Text Mining. *Service Science* 10(2):154–180.

doi:10.1287/serv.2018.0208

Limam Mansar S, Reijers HA (2007) Best practices in business process redesign: use and impact. *Business Process Management Journal* 13(2):193–213. doi:10.1108/14637150710740455

Lindqvist U, Neumann PG (2017) The future of the internet of things. *Communications of the ACM* 60(2):26–30. doi:10.1145/3029589

Liu Z, Ming X, Song W, Qiu S, Qu Y (2018) A perspective on value co-creation-oriented framework for smart product-service system. In: *Procedia CIRP* 73. 29-31 May 2018, S 155–160. doi:10.1016/j.procir.2018.04.021

Lu Y, Papagiannidis S, Alamanos E (2018) Internet of Things: A systematic review of the business literature from the user and organisational perspectives. *Technological Forecasting and Social Change* 136:285–297.

doi:10.1016/j.techfore.2018.01.022

Lusch RF, Nambisan S (2015) Service innovation: A service-dominant logic perspective. *MIS Quarterly: Management Information Systems* 39(1):155–175

Lyytinen K, Yoo Y (2002a) Issues and Challenges in Ubiquitous Computing. *Communications of the ACM* 45(12):62–65

Lyytinen K, Yoo Y (2002b) Research Commentary: The Next Wave of Nomadic Computing. *Information Systems Research* 13(4):377–388.

doi:10.1287/isre.13.4.377.75

Lyytinen K, Yoo Y, Varshney U, Ackerman M, Davis G, Avital M, Robey D, Sawyer S, Sorensen C (2004) Surfing the Next Wave: Design and Implementation Challenges of Ubiquitous Computing. *Communications of the Association for Information Systems* 13(1):697–716.

<https://aisel.aisnet.org/cais/vol13/iss1/40/> (Abruf am 2018-09-06)

Maass W, Varshney U (2008) Preface to the Focus Theme Section: 'Smart Products'. *Electronic Markets* 18(3):211–215. doi:10.1080/10196780802265645

Maccani G, Donnellan B, Helfert M (2014) SYSTEMATIC PROBLEM FORMULATION IN ACTION DESIGN RESEARCH: THE CASE OF SMART CITIES. In: Avital M, Leimeister JM, Schultze U (Hrsg) *Proceedings of the European Conference on Information Systems (ECIS)*. June 9-11, 2014, AIS Electronic Library

Maglio PP, Spohrer J (2008) Fundamentals of service science. *Journal of the Academy of Marketing Science* 36(1):18–20. doi:10.1007/s11747-007-0058-9

Maglio PP, Vargo SL, Caswell N, Spohrer J (2009) The service system is the basic abstraction of service science. *Information Systems and e-Business Management* 7(4):395–406. doi:10.1007/s10257-008-0105-1

Maier AM, Moultrie J, Clarkson PJ (2012) Assessing Organizational Capabilities: Reviewing and Guiding the Development of Maturity Grids. *IEEE Transactions on Engineering Management* 59(1):138–159.

doi:10.1109/TEM.2010.2077289

Maier MW (1998) Architecting principles for systems-of-systems. *Systems Engineering* 1(4):267–284. doi:10.1002/(SICI)1520-6858(1998)1:4<267::AID-SYS3>3.0.CO;2-D

Malich S (2008) Qualität von Softwaresystemen. Ein pattern-basiertes Wissensmodell zur Unterstützung des Entwurfs und der Bewertung von Softwarearchitekturen. Zugl.: Duisburg-Essen, Univ., Diss., 2007. 1. Aufl. Gabler, Wiesbaden

- March ST, Smith GF (1995)** Design and natural science research on information technology. *Decision Support Systems* 15(4):251–266. doi:10.1016/0167-9236(94)00041-2
- Mareis C (2012)** Quadratisch, praktisch, gut. Zur Erfolgsgeschichte des morphologischen Kastens. *Maske und Kothurn* 58(2):109–122. doi:10.7767/muk.2012.58.2.109
- Marrone M, Hammerle M (2018)** Smart Cities: A Review and Analysis of Stakeholders' Literature. *Business & Information Systems Engineering* 60(3):197–213. doi:10.1007/s12599-018-0535-3
- Martin D, Hirt R, Kühl N (2019)** Service Systems, Smart Service Systems and Cyber-Physical Systems - What's the difference? Towards a Unhified Terminology. In: Ludwig T, Pipek V (Hrsg) *Human Practice. Digital Ecologies. Our Future*. 14th International Conference on Wirtschaftsinformatik. Tagungsband, S 14–30
- Mayer P, Volland D, Thiesse F, Fleisch E (2011)** User Acceptance of 'Smart Products': An Empirical Investigation. In: *Wirtschaftsinformatik Proceedings 2011*. 16.-18. Februar 2011, S 1063–1072. <http://aisel.aisnet.org/wi2011/9> (Abruf am 2023-09-15)
- McBride T (2010)** Organisational theory perspective on process capability measurement scales. *Journal of Software Maintenance and Evolution: Research and Practice* 22(4):243-254. doi:10.1002/spip.440
- McFarlane D, Sarma S, Chirn JL, Wong CY, Ashton K (2002)** THE INTELLIGENT PRODUCT IN MANUFACTURING CONTROL AND MANAGEMENT. In: *PROCEEDINGS OF THE 15th IFAC WORLD CONGRESS*. 21st - 26th July 2002, International Federation of Automatic Control, S 49–54. doi:10.3182/20020721-6-ES-1901.00011
- McGrath SK, Whitty SJ (2015)** Redefining governance: from confusion to certainty and clarity. *International Journal of Managing Projects in Business* 8(4):755–787. doi:10.1108/IJMPB-10-2014-0071
- McGrath SK, Whitty SJ (2020)** What do project management practitioners think governance is? A study on perceptions in Queensland, Australia. *International Journal of Managing Projects in Business* 13(5):961–980. doi:10.1108/IJMPB-09-2018-0180
- Mennenga M, Cerdas F, Thiede S, Herrmann C (2019)** Exploring the Opportunities of System of Systems Engineering to Complement Sustainable

Manufacturing and Life Cycle Engineering. *Procedia CIRP* 80:637–642.

doi:10.1016/j.procir.2019.01.026

Mertens P, Bodendorf F, König W, Schumann M, Hess T, Buxmann P (2017) Grundzüge der Wirtschaftsinformatik. 12., grundlegend überarbeitete Auflage. Springer Gabler, Berlin. doi:10.1007/978-3-662-53362-8

Mettler T (2009) A Design Science Research Perspective on Maturity Models in Information Systems, St. Gallen. <https://www.alexandria.unisg.ch/214531/> (Abruf am 2020-10-27)

Mettler T (2010) Thinking in Terms of Design Decisions When Developing Maturity Models. *International Journal of Strategic Decision Sciences* 1(4):76–87. doi:10.4018/jsds.2010100105

Mettler T, Rohner P (2009) Situational maturity models as instrumental artifacts for organizational design. In: Vaishanvi V, Purao S (Hrsg) *Proceedings of DESRIST '09*. 2009, New York, S 1–9. doi:10.1145/1555619.1555649

Mettler T, Rohner P, Winter R (2010) Towards a Classification of Maturity Models in Information Systems. In: D'Atri A, Marco M de, Braccini AM, Cabiddu F (Hrsg) *Management of the Interconnected World*. Physica-Verlag HD, Heidelberg, S 333–340. doi:10.1007/978-3-7908-2404-9_39

Mishra D, Gunasekaran A, Childe SJ, Papadopoulos T, Dubey R, Wamba S (2016) Vision, applications and future challenges of Internet of Things. A bibliometric study of the recent literature. *Industrial Management & Data Systems* 116(7):1331–1355 (Abruf am 2018-10-26). doi:10.1108/IMDS-11-2015-0478

Möhrle MG, Specht D (2018) Roadmapping. <https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/roadmapping-42835/version-266177> (Abruf am 2021-08-19)

Mohsin BS, Ali H, AlKaabi R (2019) Smart City: A Review of Maturity Models. In: *2nd Smart Cities Symposium (SCS 2019)*. 24-26 March 2019. doi:10.1049/cp.2019.0209

Morakanyane R, Grace A, O'Reilly P (2017) Conceptualizing Digital Transformation in Business Organizations. A Systematic Review of Literature. In: *BLED 2017 Proceedings*. June 18 – 21, S 427–443. <http://aisel.aisnet.org/bled2017> (Abruf am 2018-07-11). doi:10.18690/978-961-286-043-1.30

Moran TP, Dourish P (2001) Introduction to This Special Issue on Context-Aware Computing. *Human-Computer Interaction* 16(2-4):87–95.

doi:10.1207/S15327051HCI16234_01

Mühlhäuser M (2008) Smart Products: An Introduction. In: Mühlhäuser M, Aitenbichler E, Ferscha A (Hrsg) *Constructing Ambient Intelligence. AmI 2007 Workshops Darmstadt, Germany, November 7-10, 2007 Revised Papers*. Springer, Berlin, Heidelberg, S 158–164

Müller-Stewens G, Gillenkirch R (2018) Strategie.

<https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/strategie-43591/version-266920>
(Abruf am 2021-08-19)

Nemeth T, Ansari F, Sihh W (2019) A Maturity Assessment Procedure Model for Realizing Knowledge-Based Maintenance Strategies in Smart Manufacturing Enterprises. *Procedia Manufacturing* 39:645–654.

doi:10.1016/j.promfg.2020.01.439

Nickerson RC, Varshney U, Muntermann J (2013) A method for taxonomy development and its application in information systems. *European Journal of Information Systems* 22(3):336–359. doi:10.1057/ejis.2012.26

Novales A, Mocker M, Simonovich D (2016) IT-enriched "Digitized" Products. Building Blocks and Challenges. In: *Proceedings of the 22nd Americas Conference on Information Systems (AMCIS 2016)*. August 11-14, 2016.

<http://aisel.aisnet.org/amcis2016/SCU/Presentations/23> (Abruf am 2023-09-15)

Novales A, Mocker M, van Heck E (2019) Producer-side Use Cases of Digitized Products: What's Best for Your Company? In: *ICIS 2019 Proceedings*. 15.-18.12.2019.

https://aisel.aisnet.org/icis2019/practice_is_research/practice_is_research/9/
(Abruf am 2021-06-23)

Novotny A, Bauer C (2017) What do we really talk about when we talk about context in pervasive computing. A Review and Exploratory Analysis. In: Indrawan-Santiago M, Steinbauer M, Salvadori IL, Khalil I, Anderst-Kotsis G (Hrsg) *Proceedings of the 19th International Conference on Information Integration and Web-based Applications & Services - iiWAS '17*. 04.-06. Dezember 2017, New York, New York, USA, S 301–310.

doi:10.1145/3151759.3151760

Nygaard J, Colli M, Wæhrens BV (2020) A self-assessment framework for supporting continuous improvement through IoT integration. *Procedia Manufacturing* 42:344–350. doi:10.1016/j.promfg.2020.02.079

Okoli C (2015) A Guide to Conducting a Standalone Systematic Literature Review. *Communications of the Association for Information Systems* 37(1):879–910. <http://aisel.aisnet.org/cais/vol37/iss1/43/> (Abruf am 2017-08-24)

Okoli C, Schabram K (2010) A Guide to Conducting a Systematic Literature Review of Information Systems Research. *SSRN Electronic Journal*. https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=1954824 (Abruf am 2023-07-02). doi:10.2139/ssrn.1954824

Olson N, Nolin JM, Nelhans G (2015) Semantic web, ubiquitous computing, or internet of things? A macro-analysis of scholarly publications. *Journal of Documentation* 71(5):884–916. doi:10.1108/JD-03-2013-0033

O'Reilly T (2014) #IoTH: The Internet of Things and Humans. The IoT requires thinking about how humans and things cooperate differently when things get smarter. <https://www.oreilly.com/ideas/ioth-the-internet-of-things-and-humans> (Abruf am 2016-11-11)

Pakdaman M, Dokhtzeynal V, Abbasi A, Chakraborty RK (2019) The Development of a Roadmap for Project Management Framework and Processes. In: 2019 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM). 15.-18. Dezember 2019, S 810–814. doi:10.1109/IEEM44572.2019.8978517

Palvia P, Daneshvar Kakhki M, Ghoshal T, Uppala V, Wang W (2015) Methodological and Topic Trends in Information Systems Research: A Meta-Analysis of IS Journals. *Communications of the Association for Information Systems* 37(1):630–650

Patig S, Zwanziger A, Herden S (2021) IT-Infrastruktur. <https://www.enzyklopaedie-der-wirtschaftsinformatik.de/wi-enzyklopaedie/lexikon/daten-wissen/Informationsmanagement/IT-Infrastruktur/index.html?searchterm=Infrastruktur> (Abruf am 2021-09-30)

Paulk MC, Curtis B, Chrissis MB, Weber CV (1993) Capability maturity model, Version 1.1. *IEEE Software* 10(4):18–27. doi:10.1109/52.219617

Peppers K, Rothenberger M, Tuunanen T, Vaezi R (2012) Design Science Research Evaluation. In: Peppers K, Rothenberger M, Kuechler B (Hrsg) *Design Science Research in Information Systems. Advances in Theory and Practice*. May 2012, Berlin, S 398–410. doi:10.1007/978-3-642-29863-9_29

Peppers K, Tuunanen T, Rothenberger MA, Chatterjee S (2008) A Design Science Research Methodology for Information Systems Research. *Journal of*

Management Information Systems 24(3):45–77. doi:10.2753/MIS0742-1222240302

Pérez Hernández ME, Reiff-Marganiec S (2014) Classifying Smart Objects using capabilities. In: 2014 International Conference on Smart Computing. 03.-05. November 2014, S 309–316. doi:10.1109/SMARTCOMP.2014.7043873

Pfeiffer D, Niehaves B (2005) Evaluation of Conceptual Models - A Structuralist Approach. In: ECIS 2005 Proceedings. May 26-28, 2005. <https://aisel.aisnet.org/ecis2005/43> (Abruf am 2023-09-15)

Phaal R, Farrukh C, Probert D (2004) Customizing Roadmapping. Research Technology Management 47(2):26–37. <http://www.jstor.org/stable/43240844> (Abruf am 2023-09-15)

Piccinini E, Gregory RW, Kolbe LM (2015) Changes in the Producer-Consumer Relationship - Towards Digital Transformation. In: Thomas O, Teuteberg F (Hrsg) Proceedings der 12. Internationalen Tagung Wirtschaftsinformatik (WI 2015). March 4-6 2015, S 1634–1648. <http://aisel.aisnet.org/wi2015/109/> (Abruf am 2018-07-16)

Pletscher C, Regli S, Cueni R, Golliard T, Portmann E (2016) Smarte Logistik- und Mobilitätslösungen für die Stadt der Zukunft: Entwicklungsbeispiele der Schweizerischen Post. In: Meier A, Portmann E (Hrsg) Smart City. Strategie, Governance und Projekte. Springer Vieweg, Wiesbaden, S 167–184. doi:10.1007/978-3-658-15617-6_8

Poppe R, Rienks R, van Dijk B (2007) Evaluating the Future of HCI. Challenges for the Evaluation of Emerging Applications. In: Huang TS, Nijholt A, Pantic M, Pentland A (Hrsg) Artificial Intelligence for Human Computing. Springer, Berlin, Heidelberg, S 234–250. doi:10.1007/978-3-540-72348-6_12

Pöppelbuß J, Röglinger M (2011) WHAT MAKES A USEFUL MATURITY MODEL? A FRAMEWORK OF GENERAL DESIGN PRINCIPLES FOR MATURITY MODELS AND ITS DEMONSTRATION IN BUSINESS PROCESS MANAGEMENT. In: ECIS 2011 Proceedings. June 9-11, 2011. <http://aisel.aisnet.org/ecis2011/28> (Abruf am 2023-09-15)

Porter ME, Heppelmann JE (2014a) How Smart, Connected Products are Transforming Competition. Harvard Business Review 92(11):64–88

Porter ME, Heppelmann JE (2014b) Wie smarte Produkte den Wettbewerb verändern 36(12):34–61

- Porter ME, Heppelmann JE (2015)** How Smart, Connected Products Are Transforming Companies. *Harvard Business Review* 93(10):96–114
- Poslad S (2009)** Ubiquitous Computing. Smart Devices, Environments and Interactions. 2nd ed. John Wiley & Sons Ltd, Hoboken
- Pries-Heje J, Baskerville R, Venable J (2008)** Strategies for Design Science Research Evaluation. In: ECIS 2008 Proceedings. June 9th - 11th 2008
- Püschel L (2019)** Products and Processes in the Age of the Internet of Things. und Wirtschaftswissenschaftlichen Fakultät der. Dissertation, Rechts- und Wirtschaftswissenschaftlichen Fakultät, Bayreuth. <https://epub.uni-bayreuth.de/4484/> (Abruf am 2020-05-03)
- Püschel L, Roeglinger M, Schlott H (2016)** What's in a Smart Thing? Development of a Multi-layer Taxonomy. In: ICIS 2016 PROCEEDINGS. <http://aisel.aisnet.org/icis2016/DigitalInnovation/Presentations/6/> (Abruf am 2017-12-12)
- Raber D, Wortmann F, Winter R (2013)** Situational Business Intelligence Maturity Models: An Exploratory Analysis. In: HICSS '13 Proceedings. 07.01.13 - 10.01.13, Washington, DC, USA, S 3797–3806. doi:10.1109/HICSS.2013.483
- Rajagopal N, Prasad KV (2013)** Process framework for Smart Grid implementation. In: 2013 IEEE Innovative Smart Grid Technologies-Asia (ISGT Asia). 10.-13. November 2013, S 1–5. doi:10.1109/ISGT-Asia.2013.6698766
- Reis L, Maier C, Weitzel T (2022)** Mixed-Methods in Information Systems Research: Status Quo, Core Concepts, and Future Research Implications. *Communications of the Association for Information Systems* 51(1):95–119. doi:10.17705/1CAIS.05106
- Roecker J, Mocker M, Novales A (2017)** Digitized Products: Challenges and Practices from the Creative Industries. In: Proceedings of the 23rd Americas Conference on Information Systems (AMCIS 2017). August 10-12, 2016. <https://aisel.aisnet.org/amcis2017/StrategicIT/Presentations/16/> (Abruf am 2020-07-01)
- Röglinger M, Pöppelbuß J, Becker J (2012)** Maturity models in business process management. *Business Process Management Journal* 18(2):328–346. doi:10.1108/14637151211225225
- Rooksby J, Rost M, Morrison A, Chalmers M, Chalmers MC (2014)** Personal Tracking as Lived Informatics. In: CHI '14 - Proceedings of the SIGCHI

Conference on Human Factors in Computing Systems. April 26 - May 01, 2014, New York, USA, S 1163–1172. doi:10.1145/2556288.2557039

Roth J (2005) Mobile Computing. Grundlagen, Technik, Konzepte. 2. Auflage. dpunkt-Verlag, Heidelberg

Rüegg-Stürm J, Grand S (2020) Das St. Galler Management-Modell. Management in einer komplexen Welt. 2. Auflage. Haupt Verlag, Bern

Sabou M, Kantorovitch J, Nikolov A, Tokmakoff A, Zhou X, Motta E (2009) Position paper on realizing smart products: Challenges for semantic web technologies. In: Taylor K, Ayyagari A, De Roure D (Hrsg) CEUR Workshop Proceedings. Proceedings of the 2nd International Workshop on Semantic Sensor Networks (SSN09), collocated with the 8th International Semantic Web Conference (ISWC-2009). October 26, 2009, 135-147. <http://ceur-ws.org/Vol-522/p9.pdf> (Abruf am 2020-04-15)

Santos RC, Martinho JL (2020) An Industry 4.0 maturity model proposal. Journal of Manufacturing Technology Management 31(5):1023–1043. doi:10.1108/JMTM-09-2018-0284

Satyanarayanan M (2001) Pervasive computing: vision and challenges. IEEE Personal Communications 8(4):10–17. doi:10.1109/98.943998

SCAMPI Upgrade Team (2011) Standard CMMI Appraisal Method for Process Improvement (SCAMPI) A, Version 1.3: Method Definition Document. <https://resources.sei.cmu.edu/library/asset-view.cfm?assetID=9703> (Abruf am 2023-02-10)

Scheil M (2008) IT Architecturing: Reconceptualizing Current Notions of Architecture in IS Research. In: ECIS 2008 Proceedings. June 9th - 11th 2008. <https://aisel.aisnet.org/ecis2008/154> (Abruf am 2020-05-26)

Schilit BN, Theimer MM (1994) Disseminating Active Map Information to Mobile Hosts. IEEE Network 8(5):22–32. doi:10.1109/65.313011

Schiller B, Brogt T, Schuler JPM, Strobel G (2018) Can Self-Tracking Solutions Help with Understanding Quality of Smart, Connected Products? Research-in-Progress Papers. 6. In: Proceedings of the 26th European Conference on Information Systems (ECIS 2018). June 23rd – 28th 2018. https://aisel.aisnet.org/ecis2018_rip/6 (Abruf am 2020-09-07)

Schiller B, Brogt T, Schuler JPM, Strobel G, Eicker S (2020) Identifying Quality Factors for Self-Tracking Solutions: A Systematic Literature Review. In:

Bui T (Hrsg) Proceedings of the 53rd Hawaii International Conference on System Sciences. Jan 7, 2020 - Jan 10, 2020. doi:10.24251/HICSS.2020.452

Schreiner M, Hess T, Benlian A (2015) Gestaltungsorientierter Kern oder Tendenz zur Empirie? Zur neueren methodischen Entwicklung der Wirtschaftsinformatik. Arbeitsbericht, Institut für Wirtschaftsinformatik und Neue Medien, Fakultät für Betriebswirtschaft, Ludwig-Maximilians-Universität, No. 1/2015. <http://hdl.handle.net/10419/109029> (Abruf am 2023-09-15)

Schryen G (2015) Writing Qualitative IS Literature Reviews—Guidelines for Synthesis, Interpretation, and Guidance of Research. Communications of the Association for Information Systems 37(1). <http://aisel.aisnet.org/cais/vol37/iss1/12/> (Abruf am 2017-08-30)

Schryen G, Benlian A, Rowe F, Gregor S, Larsen K, Petter S, Paré G, Wagner G, Haag S, Yasasin E (2017) Literature Reviews in IS Research: What Can Be Learnt from the Past and Other Fields? Communications of the Association for Information Systems 41(1):759–774. <http://aisel.aisnet.org/cais/vol41/iss1/30/> (Abruf am 2018-01-15)

Schryen G, Wagner G, Benlian A, Paré G (2020) A Knowledge Development Perspective on Literature Reviews: Validation of a new Typology in the IS Field. Communications of the Association for Information Systems 46:134–186. doi:10.17705/1CAIS.04607

Schuh G, Zeller V, Hicking J, Bernardy A (2019) Introducing a methodology for smartification of products in manufacturing industry. Procedia CIRP 81:228–233. doi:10.1016/j.procir.2019.03.040

Schumacher A, Erol S, Sihm W (2016) A Maturity Model for Assessing Industry 4.0 Readiness and Maturity of Manufacturing Enterprises. Procedia CIRP 52:161–166. doi:10.1016/j.procir.2016.07.040

Schütte R (1998) Grundsätze ordnungsmäßiger Referenzmodellierung. Konstruktion konfigurations- und anpassungsorientierter Modelle. Gabler, Wiesbaden

Sciullo L, Gigli L, Montori F, Trotta A, Di Felice M (2022) A Survey on the Web of Things. IEEE Access 10:47570–47596. doi:10.1109/ACCESS.2022.3171575

SGMM Team T (2011) Smart Grid Maturity Model. SGMM Model Definition: Version 1.2. A framework for smart grid transformation.

<https://resources.sei.cmu.edu/library/asset-view.cfm?assetid=10035> (Abruf am 2021-03-10)

Shih PC, Han K, Poole ES, Rosson MB, Carroll JM (2015) Use and Adoption Challenges of Wearable Activity Trackers. In: iConference 2015 Proceedings, S 1–12.

https://www.researchgate.net/publication/268746784_Use_and_adoption_challenges_of_wearable_activity_trackers (Abruf am 2017-09-21)

Shim JP, Sharda R, French AM, Syler RA, Patten KP (2020) The Internet of Things: Multi-faceted Research Perspectives. *Communications of the Association for Information Systems* 46:511–536. doi:10.17705/1CAIS.04621

Silverio-Fernández M, Renukappa S, Suresh S (2018) What is a smart device? - a conceptualisation within the paradigm of the internet of things. *Visualization in Engineering* 6(3). doi:10.1186/s40327-018-0063-8

Simon D, Fischbach K, Schoder D (2013) An Exploration of Enterprise Architecture Research. *Communications of the Association for Information Systems* 32. doi:10.17705/1CAIS.03201

Sinz EJ (2019) Informationssystem-Architekturen, Gestaltung: Methoden, Modelle, Werkzeuge. *Enzyklopädie der Wirtschaftsinformatik Online-Lexikon*. <https://www.enzyklopaedie-der-wirtschaftsinformatik.de/wi-enzyklopaedie/lexikon/daten-wissen/Informationsmanagement/Information-/Informationssystem-Architektur/Informationssystem-Architekturen--Gestaltung--Methoden--Modelle--Werkzeuge> (Abruf am 2019-06-02)

Sjödín DR, Parida V, Leksell M, Petrovic A (2018) Smart Factory Implementation and Process Innovation. A Preliminary Maturity Model for Leveraging Digitalization in Manufacturing. *Research-Technology Management* 61(5):22–31. doi:10.1080/08956308.2018.1471277

Skog DA, Wimelius H, Sandberg J (2018) Digital Disruption. *Business & Information Systems Engineering*:431–437. <https://link.springer.com/article/10.1007/s12599-018-0550-4> (Abruf am 2023-09-15). doi:10.1007/s12599-018-0550-4

Smolander K (2002) Four Metaphors of Architecture in Software Organizations: Finding out The Meaning of Architecture in Practice. In: *Proceedings International Symposium on Empirical Software Engineering*. 3-4 Oct. 2002. doi:10.1109/ISESE.2002.1166942

- Software Engineering Institut (2017)** What is your definition of software architecture.
https://resources.sei.cmu.edu/asset_files/FactSheet/2010_010_001_513810.pdf
(Abruf am 2020-05-28)
- Solli-Sæther H, Gottschalk P (2010)** The Modeling Process for Stage Models. *Journal of Organizational Computing and Electronic Commerce* 20(3):279–293. doi:10.1080/10919392.2010.494535
- Sonnenberg C, vom Brocke J (2012a)** Evaluation Patterns for Design Science Research Artefacts. In: Helfert M, Donnellan B (Hrsg) *Practical Aspects of Design Science*. Springer, Berlin, Heidelberg, S 71–83. doi:10.1007/978-3-642-33681-2_7
- Sonnenberg C, vom Brocke J (2012b)** Evaluations in the Science of the Artificial – Reconsidering the Build-Evaluate Pattern in Design Science Research. In: Peffers K, Rothenberger M, Kuechler B (Hrsg) *Design Science Research in Information Systems. Advances in Theory and Practice*. May 2012, Berlin, S 381–397. doi:10.1007/978-3-642-29863-9_28
- Stachowiak H (1973)** *Allgemeine Modelltheorie*. Springer, Wien
- Stavropoulos TG, Vrakas D, Vlahavas I (2013)** A survey of service composition in ambient intelligence environments. *Artificial Intelligence Review* 40(3):247–270. doi:10.1007/s10462-011-9283-1
- Stockmann R (2006)** *Evaluation und Qualitätsentwicklung. Eine Grundlage für wirkungsorientiertes Qualitätsmanagement*. Waxmann, Münster
- Strasser M, Weiner N, Albayrak S (2016)** A maturity framework to evaluate smart city service solutions. In: *Proceedings of the 18th Mediterranean Electrotechnical Conference (MELECON)*. 18-20 April 2016, S 1–6. doi:10.1109/MELCON.2016.7495461
- Streitz N (2017)** Reconciling Humans and Technology: The Role of Ambient Intelligence. In: Braun A, Wichert R, Maña A (Hrsg) *Ambient Intelligence. AMI 2017*. Springer International Publishing, Cham, S 1–16. doi:10.1007/978-3-319-56997-0_1
- Streitz N (2019)** Beyond ‘smart-only’ cities: redefining the ‘smart-everything’ paradigm. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing* 10(2):791–812. doi:10.1007/s12652-018-0824-1
- Streitz N, Privat G (2009)** Ambient Intelligence. In: Stephanidis C (Hrsg) *The Universal Access Handbook*. CRC Press, Boca Raton, 60-1 – 60-17

- Subbu KP, Vasilakos AV (2017)** Big Data for Context Aware Computing – Perspectives and Challenges. *Big Data Research* 10:33–43.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214579616300077?via%3Dihub> (Abruf am 2018-09-21). doi:10.1016/j.bdr.2017.10.002
- Sun Q, Ge X, Liu L, Xu X, Zhang Y, Niu R, Zeng Y (2011)** Review of Smart Grid Comprehensive Assessment Systems. *Energy Procedia* 12:219–229.
doi:10.1016/j.egypro.2011.10.031
- Supangkat SH, Arman AA, Nugraha RA, Fatimah YA (2018)** The Implementation of Garuda Smart City Framework for Smart City Readiness Mapping in Indonesia. *Journal of Asia-Pacific Studies (Waseda University)* 32:169–176.
https://waseda.repo.nii.ac.jp/?action=repository_action_common_download&item_id=41653&item_no=1&attribute_id=162&file_no=1 (Abruf am 2021-06-18)
- Swan M (2012)** Sensor Mania! The Internet of Things, Wearable Computing, Objective Metrics, and the Quantified Self 2.0. *Journal of Sensor and Actuator Networks* 1(3):217–253. doi:10.3390/jsan1030217
- Takayama L (2017)** The motivations of ubiquitous computing: revisiting the ideas behind and beyond the prototypes. *Personal and Ubiquitous Computing* 21(3):557–569. doi:10.1007/s00779-017-1002-8
- Teubner RA (1999)** Organisations- und Informationssystemgestaltung. Theoretische Grundlagen und integrierte Methoden. Deutscher Universitätsverlag, Wiesbaden. doi:10.1007/978-3-322-99957-3
- Thangavel G, Memedi M, Hedström K (2019)** A systematic review of Social Internet of Things: concepts and application areas. In: *AMCIS 2019 Proceedings*. 15-17.08.2019, S 1–10.
https://aisel.aisnet.org/amcis2019/meta_research_is/meta_research_is/1 (Abruf am 2023-09-15)
- The Scottish Government, Scottish Cities Alliance, Urban Tide (2014)** Smart Cities Readiness. Smart Cities Maturity Model and Self-Assessment Tool. Guidance Note for completion of Self-Assessment Tool October 2014.
<https://scottishcities.org.uk/wp-content/uploads/2021/01/Smart-Cities-Scotland-Maturity-Model-and-Self-Assessment-Tool.pdf> (Abruf am 2021-06-16)
- Toplus (2010)** What the Internet of Things is NOT.
<http://technicaltoplus.blogspot.com/2010/03/what-internet-of-things-is-not.html> (Abruf am 2023-07-02)

Torrinha P, Machado RJ (2017) Assessment of maturity models for smart cities supported by maturity model design principles. In: 2017 IEEE International Conference on Smart Grid and Smart Cities (ICSGSC). 23.-26. Juli 2017, S 252–256. doi:10.1109/ICSGSC.2017.8038586

Uckelmann D, Harrison M, Michahelles F (2011) Anarchitectural Approach Towards the Future Internet of Things. In: Uckelmann D, Harrison M, Michahelles F (Hrsg) Architecting the Internet of Things. Springer, Berlin, Heidelberg, New York, S 1–24

Valencia A, Mugge R, Schoormans JPL, Schifferstein HNJ (2014) Challenges in the design of smart product-service systems (PSSs): Experiences from practitioners. In: Proceedings of the 19th DMI: Academic Design Management Conference. Design Management in an Era of Disruption. 2-4 September 2014. <https://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid:03453047-d336-470e-9290-a1bbf5bb6b32?collection=research> (Abruf am 2020-07-13)

Vargo SL, Lusch RF (2008) Service-dominant logic. Continuing the evolution. *Journal of the Academy of Marketing Science* 36(1):1–10. doi:10.1007/s11747-007-0069-6

Vargo SL, Lusch RF (2017) Service-dominant logic 2025. *International Journal of Research in Marketing* 34(1):46–67. doi:10.1016/j.ijresmar.2016.11.001

Veit D, Clemons E, Benlian A, Buxmann P, Hess T, Spann M, Kundisch D, Leimeister JM, Loos P (2014) Geschäftsmodelle. Eine Forschungsagenda für die Wirtschaftsinformatik. *WIRTSCHAFTSINFORMATIK* 56(1):55–64. doi:10.1007/s11576-013-0400-4

Venable J (2006) A Framework for Design Science Research Activities. In: Proceedings of the 2006 Information Resource Management Association Conference (CD). 21-24 May 2006, Hershey, Pa

Venable J, Pries-Heje J, Baskerville R (2016) FEDS: a Framework for Evaluation in Design Science Research. *European Journal of Information Systems* 25(1):77–89. doi:10.1057/ejis.2014.36

Venable JR (2010) Design Science Research Post Hevner et al.: Criteria, Standards, Guidelines, and Expectations. In: Winter R, Zhao JL, Aier S (Hrsg) Global Perspectives on Design Science Research. June 2010, Berlin, Heidelberg, S 109–123. doi:10.1007/978-3-642-13335-0_8

Vermesan O, Harrison M, Vogt H, Kalaboukas K, Tomasella M, Wouters K, Gusmeroli S, Haller S (2009) Internet of Things. Strategic Research

Roadmap. http://www.internet-of-things-research.eu/pdf/IoT_Cluster_Strategic_Research_Agenda_2009.pdf (Abruf am 2023-09-15)

vom Brocke J, Simons A, Riemer K, Niehaves B, Plattfaut R (2015)

Standing on the shoulders of giants: Challenges and recommendations of literature search in information systems research. *Communications of the Association for Information Systems*(37):206–224

Wallner FG (1993) Der konstruktive Realismus. Theorie eines neuen Paradigmas? In: Wallner FG (Hrsg) Grenzziehungen zum konstruktiven Realismus. Beiträge zweier Kongresse. WUV-Univ.-Verl., Wien, S 11–23

Warnecke D, Wittstock R, Teuteberg F (2019) Benchmarking of European smart cities – a maturity model and web-based self-assessment tool. *Sustainability Accounting, Management and Policy Journal* 10(4):654–684. doi:10.1108/SAMPJ-03-2018-0057

Webster J, Watson RT (2002) Analyzing the past to prepare for the future: Writing a literature review. *MIS Quarterly* 26(2):xiii–xxiii

Weiser M (1999) The computer for the 21 st century. *ACM SIGMOBILE Mobile Computing and Communications Review* 3(3):3–11. <https://dl.acm.org/citation.cfm?doid=329124.329126> (Abruf am 2018-07-31). doi:10.1145/329124.329126

Wendler R (2012) The maturity of maturity model research: A systematic mapping study. *Information and Software Technology* 54(12):1317–1339. doi:10.1016/j.infsof.2012.07.007

Wendler R (2014) Reifegradmodelle: Anwendungspotenziale in der Betriebswirtschaftslehre. *Der Betriebswirt* 55(1):32–36. doi:10.3790/dbw.55.1.32

Wilde T, Hess T (2007) Forschungsmethoden der Wirtschaftsinformatik. *WIRTSCHAFTSINFORMATIK* 49(4):280–287. doi:10.1007/s11576-007-0064-z

Wilden R, Akaka MA, Karpen IO, Hohberger J (2017) The Evolution and Prospects of Service-Dominant Logic. An Investigation of Past, Present, and Future Research. *Journal of Service Research* 20(4):345–361. doi:10.1177/1094670517715121

Winkelmann A (2019) Stammdaten in der Warenwirtschaft. <https://wilex.de/index.php/lexikon/inner-und-ueberbetriebliche-informationsysteme/sektorspezifische-anwendungssysteme/handel->

anwendungssysteme-im/warenwirtschaftssystem/stammdaten-in-der-warenwirtschaft/ (Abruf am 2023-05-11)

Winter R, Mettler T (2016) Kontinuierliche Business Innovation: Systematische Weiterentwicklung komplexer Geschäftslösungen durch Reifegradmodell-basiertes Management. In: Hoffmann CP, Lennerts S, Schmitz C, Stölzle W, Uebnickel F (Hrsg) Business Innovation: Das St. Galler Modell. Springer Fachmedien Wiesbaden, Wiesbaden, S 163–183. doi:10.1007/978-3-658-07167-7_11

WKWI, GI FB WI (2011) Profil der Wirtschaftsinformatik, Zürich. http://wi.vhbonline.org/fileadmin/Kommissionen/WK_WI/Profil_WI/Profil_WI_final_ds26.pdf (Abruf am 2015-04-27)

Xia Q, Jiang C, Yang C, Zheng X, Pan X, Shuai Y, Yuan S (2019) A Method Towards Smart Manufacturing Capabilities and Performance Measurement. *Procedia Manufacturing* 39:851–858. doi:10.1016/j.promfg.2020.01.415

Yan B-N, Lee T-S, Lee T-P (2015) Mapping the intellectual structure of the Internet of Things (IoT) field (2000–2014): a co-word analysis. *Scientometrics* 105(2):1285–1300. doi:10.1007/s11192-015-1740-1

Yigitcanlar T, Han H, Kamruzzaman M (2019) Approaches, Advances, and Applications in the Sustainable Development of Smart Cities: A Commentary from the Guest Editors. *Energies* 12(23). <https://www.mdpi.com/1996-1073/12/23/4554> (Abruf am 2022-03-28). doi:10.3390/en12234554

Yigitcanlar T, Kankanamge N, Vella K (2021) How Are Smart City Concepts and Technologies Perceived and Utilized? A Systematic Geo-Twitter Analysis of Smart Cities in Australia. *Journal of Urban Technology* 28(1-2):135–154. doi:10.1080/10630732.2020.1753483

Yoo Y, Boland RJ, Lyytinen K, Majchrzak A (2012) Organizing for Innovation in the Digitized World. *Organization Science* 23(5):1398–1408. doi:10.1287/orsc.1120.0771

Yoo Y, Henfridsson O, Lyytinen K (2010) Research Commentary —The New Organizing Logic of Digital Innovation. An Agenda for Information Systems Research. *Information Systems Research* 21(4):724–735. doi:10.1287/isre.1100.0322

Yumak K, Tosun G, Ercin O, Batar G, Sinim MC (2018) Turkey's Smart Grid Roadmap Project for Electrical Distribution Systems in Vision 2035. In: 2018 IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Conference Europe (ISGT-Europe).

Conference Proceedings. 21.-25. Oktober 2018, S 1–6.

doi:10.1109/ISGTEurope.2018.8571730

Zapata ML, Berrah L, Tabourot L (2020) Is a digital transformation framework enough for manufacturing smart products? The case of Small and Medium Enterprises. *Procedia Manufacturing* 42:70–75.

doi:10.1016/j.promfg.2020.02.024

Zelewski S (2007) Kann Wissenschaftstheorie behilflich für die Publikationspraxis sein? Eine kritische Auseinandersetzung mit den Guidelines nach Hevner et al. In: Lehner F, Zelewski S (Hrsg) *Wissenschaftstheoretische Fundierung und wissenschaftliche Orientierung der Wirtschaftsinformatik*. Gito, Berlin, S 71–120

Zhao R, Wang J (2011) Visualizing the research on pervasive and ubiquitous computing. *Scientometrics* 86(3):593–612. doi:10.1007/s11192-010-0283-8

Zheng P, Wang Z, Chen C-H, Pheng Khoo L (2019) A survey of smart product-service systems: Key aspects, challenges and future perspectives. *Advanced Engineering Informatics* 42. doi:10.1016/j.aei.2019.100973

Zittrain J (2006) The Generative Internet. *Harvard Law Review* 119(7):1974–2040. <http://nrs.harvard.edu/urn-3:HUL.InstRepos:9385626> (Abruf am 2023-09-15)

Zollondz H-D (2010) *Grundlagen Qualitätsmanagement. Einführung in Geschichte, Begriffe, Systeme und Konzepte*. 3. Aufl. Oldenbourg, München

Zollondz H-D (2016) Dienstleistung. In: Zollondz H-D, Ketting M, Pfundtner R (Hrsg) *Lexikon Qualitätsmanagement. Handbuch des Modernen Managements auf Basis des Qualitätsmanagements*. 2. Auflage. De Gruyter Oldenbourg, S 216–219

Anhang A: Ergebnisübersicht der systematischen Literaturanalyse zu Reifegradmodellen digitalisierter Produkte

Im Folgenden finden sich eine Übersicht der Ergebnisse der systematischen Literaturanalyse zu Reifegradmodellen digitalisierter Produkte (Kapitel 5.1). Diese sind aufgeschlüsselt nach Publikationen, die nicht während des Analysezeitraums beschafft werden konnten (A.1.) und dem finalen Ergebnissatz nach dem Auswahlprozess (A.2.).

A.1. Publikationen, die nicht während des Analysezeitraums beschafft werden konnten und daher nicht in der Analyse berücksichtigt wurden

Datenbank	Publikation	Link
AIS eLibrary (http://aisel.aisnet.org)	<i>Barata, João and Cunha, Paulo Rupino (2017)</i> Climbing the Maturity Ladder in Industry 4.0: A Framework for Diagnosis and Action that Combines National and Sectorial Strategies. AMCIS 2017 Proceedings.	https://aisel.aisnet.org/amcis2017/OrganizationalIS/Presentations/7
	<i>Bley, Katja; Leyh, Christian; and Schäffer, Thomas (2016)</i> Digitization of German Enterprises in the Production Sector - Do they know how "digitized" they are?. AMCIS 2016 Proceedings.	https://aisel.aisnet.org/amcis2016/EntSys/Presentations/9
	<i>Leyh, Christian; Bley, Katja; Schäffer, Thomas; and Bay, Lennart (2017)</i> The Application of the Maturity Model SIMMI 4.0 in Selected Enterprises. AMCIS 2017 Proceedings.	https://aisel.aisnet.org/amcis2017/Enterprise/Presentations/6
ScienceDirect (https://www.sciencedirect.com)	<i>Jin Sangki (2018)</i> Vision of future e-government via new e-government maturity model: Based on Korea's e-government practices. Telecommunications Policy 42 (10).	https://doi.org/10.1016/j.telpol.2017.12.002
	<i>Rodrigo Goyannes Gusmão Caiado, Luiz Felipe Scavarda, Luiz Octávio Gavião, Paulo Ivson, Daniel Luiz de Mattos Nascimento, Jose Arturo Garza-Reyes (2021)</i> A fuzzy rule-based industry 4.0 maturity model for operations and supply chain management. International Journal of Production Economics 231.	https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2020.107883

Tabelle 90: Nicht berücksichtigte Ergebnisse der systematischen Literaturanalyse zu Reifegradmodellen digitalisierter Produkte

A.2. Ergebnissatz nach dem Auswahlprozess

Sortiert nach Datenbank und Publikationsjahr

Quelle	FD	AD	Thema	Fokus
ACM Digital Library (https://dl.acm.org)				
AFONSO ET AL. (2015)	-	SC	Modellvorschlag und -einsatz	-
KORACHI UND BOUNABAT (2018)	-	SC	Modellvorschlag	Datenqualität
AIS Electronic Library (https://aisel.aisnet.org)				
MACCANI ET AL. (2014)	-	SC	Modellvorschlag	-
KLÖTZER UND PFLAUM (2017)	IoT, CPS	M	Modellvorschlag	Lieferkette
FELCH ET AL. (2019)	IoT, CPS	M	Überblick über Modelle und Test	-
LIM ET AL. (2019)	-	T	Modellvorschlag	-
BERGER ET AL. (2020)	-	M	Modellvorschlag	Digitale Transformation
EBSCOhost (https://search.ebscohost.com/Login.aspx)				
SJÖDIN ET AL. (2018)	IoT	M	Modellvorschlag	-
Emerald (https://www.emerald.com)				
WARNECKE ET AL. (2019)	-	SC	Modellvorschlag und -evaluation	-
SANTOS UND MARTINHO (2020)	IoT, CPS	M	Modellvorschlag	-
IEEE Xplore (https://ieeexplore.ieee.org/Xplore/home.jsp)				
KNIGHT ET AL. (2013)	-	E	Modellvorschlag	Interoperabilität
RAJAGOPAL UND PRASAD (2013)	-	E	Frameworkvorschlag	Smart Grid Implementierung
STRASSER ET AL. (2016)	-	SC	Frameworkvorschlag und -evaluation	Service Solutions
TORRINHA UND MACHADO (2017)	-	SC	Analyse von Modellen	-
DE CAROLIS ET AL. (2017)	-	M	Methodologie	Digitalisierung
FIRMANYAH ET AL. (2017)	-	SC	Modelleinsatz	-
JUNIAWAN ET AL. (2017)	-	SC	Modelleinsatz von Scottish Smart City Maturity Model	Smart Government
YUMAK ET AL. (2018)	-	E	Roadmap-Vorschlag und Adaption des Smart Grid Maturity Model (SGMM)	-
FUJIMOTO ET AL. (2018)	-	SC	Modelleinsatz von ISO 37153	Community
MOHSIN ET AL. (2019)	-	SC	Analyse von Modellen	-
KORACHI UND BOUNABAT (2019)	-	SC	Modellvorschlag	Digitale Strategien

Quelle	FD	AD	Thema	Fokus
ANDRADE ET AL. (2020)	IoT	SC	Modellvorschlag	Cybersecurity
Science Direct (https://www.sciencedirect.com)				
SUN ET AL. (2011)	-	E	Überblick Assessment- und Reifegradmodelle	-
HAOUZI ET AL. (2013)	IoT	M	Modellvorschlag	-
SCHUMACHER ET AL. (2016)	-	M	Modellvorschlag	-
COLLI ET AL. (2018)	-	M	Modellvorschlag und Methodologie	-
BERTOLINI ET AL. (2019)	IoT, CPS	M	Literaturreview zu Modellen	-
HU UND GAO (2019)	-	M	Modellvorschlag	-
NEMETH ET AL. (2019)	CPS	M	Maturity-Assessment-Procedure-Modellvorschlag und -evaluation	Knowledge-Based Maintenance
XIA ET AL. (2019)	-	M	Messmethode für Smart Manufacturing Capabilities basierend auf Reifegradmodellen	-
NYGAARD ET AL. (2020)	IoT	M	Self-Assessment-Framework	Digitale Transformation
ZAPATA ET AL. (2020)	-	M	Verbesserungskriterien für Reifegradmodelle	-
ANGREANI ET AL. (2020)	IoT, CPS	M, L	Systematische Literaturanalyse über Modelle	-
FLORE UND MARX GÓMEZ (2020)	-	E	Procedural-Modellvorschlag basierend auf einem zuvor entwickelten Reifegradmodell	Migration
Legende:				
FD = Forschungsdomänen: CPS = Cyber-physical Systems, IoT = Internet of Things				
AD = Anwendungsdomänen: B = Building, E = Energy, L = Logistics, M = Manufacturing, SC = Smart City, T = Tourism				

Tabelle 91: Ergebnisübersicht der Literaturanalyse zu Reifegradmodellen digitalisierter Produkte

Anhang B: Digitized Products Maturity Model (DPMM) Finale Version

Im Folgenden findet sich das vollständige Reifegradmodell der vorliegenden Arbeit, das DPMM, mitsamt den Detail-Vorschlägen für die Umsetzungsgrade in Abhängigkeit der Reifegrade und Gestaltungsziele.

Für die Tabellen gilt die folgende Legende:

- **Reifegrade:** R1 = Smart Product; R2 = Smart, connected Product; R3 = Aware smart, connected Product; R4 = Product Systems; R5 = System-of-Systems;
- **Umsetzungsgrade:** - = nicht umgesetzt; B = Basis; F = Fortgeschritten; E = Exzellent

B.1. DPMM: Dimension Strategic and Financial Planning

1.1. Strategy Development	R1	R2	R3	R4	R5
1.1.1. Strategie: Entwicklung und Implementierung einer Strategie und Festlegung von strategischen Prioritäten.		X			
1.1.2. Roadmap: Entwicklung und Implementierung einer Roadmap.		X			
1.1.3. Vision: Entwicklung und Implementierung einer Vision, die soziale, ökonomische und ökologische Ziele und Grundsätze spezifiziert (die sogenannten Tripple-Bottom-Line Goals).					X
1.1.4. Stakeholder-Kooperation: Vision, Strategie und Roadmap werden in Zusammenarbeit mit verschiedenen Stakeholdern aus unterschiedlichen Bereichen des Ökosystems entwickelt.				X	
1.1.5. Interessensabgleich: Die Strategie und die Vision sind mit nationalen, regionalen und lokalen Interessen abgeglichen.				X	
1.1.6. Treiber-Rolle: Vision und Strategie sind Treiber bzw. Vorgabe für Entwicklungen und Veränderungen in allen weiteren Bereichen (z. B. Investitionen, Kollaborationen und Gestaltung der Arbeitsprozesse und Services).				X	
1.1.7. Weiterentwicklung/Optimierung: Die Weiterentwicklung und Optimierung der Strategie und damit ggf. verbundene Einführung neuer Services und Produktangebote basieren auf deutlichen Belegen hinsichtlich einer Wirkung auf die Wettbewerbsfähigkeit sowie den Erkenntnissen, die durch die Einführung und den Betrieb digitalisierter Produkte gewonnen wurden.					X
1.1.8. Marktanalyse: Analyse potentieller Konkurrenz (Produkte, Projekte) und Planung von potentiellen Maßnahmen wurde durchgeführt.	X				
1.1.9. Produktanalyse: Vergleichende Analyse einer Voll- und Teildigitalisierung wurde durchgeführt.	X				
Umsetzungsgrade	B	B	B	F	E

Tabelle 92: Strategy Development (DPMM finale Version)

1.2. Funding and Investment	R1	R2	R3	R4	R5
1.2.1. Finanzierungs-/Investitionsbasis: Geschäftsaktivitäten der digitalisierten Produkte (z. B. Data-driven Services) erzeugen >10% des Umsatzes und liefern ausreichend finanzielle Ressourcen für kontinuierliche Investitionen in Erhaltung und Ausbau dieser.					X
1.2.2. Kosten/Nutzen-Analysen werden vierteljährlich durchgeführt.				X	
1.2.3. Betriebliche und ökologisch getriebene Investitionen sind an der Strategie und dem Business Plan ausgerichtet.					X
1.2.4. Taktische IT-Investitionen sind mit der Unternehmens-IT-Architektur abgestimmt.		X			
1.2.5. Technologie-Investitionen sind mit den Ergebnissen verknüpft und werden wirksam über mehrere Organisationen eingesetzt.				X	
1.2.6. Investitionsziele: Investitionen, um die Nutzung von Open Data zu verbessern und um zu helfen Innovationen zu stimulieren, finden regelmäßig statt (z. B. Hackathons, Service Jams, Wettbewerbe).					X
1.2.7. Investitionsauswirkungen: Investitionen haben klare Auswirkungen auf die strategischen Prioritäten.					X
1.2.8. Geteilte Investitionsobjekte: Investitionen in geteilte Architekturen zwischen Organisationen/Gruppen mit separaten Budget-Strömen wurden getätigt und die Vorteile sind bewiesen. Ein System-of-Systems-Ansatz ist im Einsatz.					X
1.2.9. Interne Investitionsobjekte: Unternehmen überprüfen, passen an und investieren kontinuierlich in Technologien, fortgeschrittenes Data Management, Analytics und Big Data sowie in offene, flexible, integrierte und skalierbare IT-Architekturen. Dadurch treiben sie Service-Transformation und Innovation, wie z. B. Erbringung von automatisierten und dynamische Echtzeit-Response Capabilities, voran, sodass in fast allen funktionalen Geschäftsbereichen Investitionen getätigt werden.					X
1.2.10. Abstimmung von Investitionen: Erstellung eines Plans zur Abstimmung der verschiedenen (Bereichs-)Investitionen und dafür Auswahl von notwendigen Services, die Schlüsselherausforderungen adressieren.		X			
1.2.11. Skaleneffekte nutzen: Identifizierung von Möglichkeiten, die Skaleneffekte ausnutzen, um die per Capita Kosten der digitalisierten Produkt-Investitionen zu reduzieren.				X	
1.2.12. Autorisierungen sichern: Alle benötigten Autorisierungen von Stakeholdern für die Investitionen wurden gesichert.				X	
1.2.13. Business Cases , die Departments, Behörden und Organisationen umfassen und das Potential für langfristige Skalierbarkeit demonstrieren, sind etabliert. Die Möglichkeit der Wiederverwendung von Capabilities, die für ein Projekt konzipiert wurden, wird für zukünftige Entwicklung innerhalb der Investitionsentscheidungen berücksichtigt.				X	
1.2.14. Proof-of-Concept-Projekte zur Evaluierung der Umsetzbarkeit werden unterstützt, finanziert und sind an der Vision ausgerichtet.		X			
1.2.15. Shared Investments: Geteilte Investitionen (Co-Investments, Joint Venture, Joint Investment) zur Sicherstellung skalierbarer				X	

1.2. Funding and Investment	R1	R2	R3	R4	R5
Verbesserungen auf Basis vereinbarter Ergebnisse sind vorhanden.					
1.2.16. Business Ventures und Co-Investments: Das Unternehmen beteiligt sich bei der Erkundung neuer unternehmerischer Vorhaben (Business Ventures) oder Co-Investments mit anderen Stakeholdern zur Strategieoptimierung.				X	
1.2.17. Finanzierungs-Portfolio und Prozess: Portfolio verschiedener (innovativer) Finanzierungsoptionen (z. B. Market-driven Funding, Regulatory Funding) ist sichergestellt und damit verbunden die Etablierung eines koordinierten Budgeting-/Finanzierungsprozess (inkl. Review von Finanzierungsprogrammen, Abstimmung mit der Strategie, Kollaborationen der Fachbereiche, Wissensteilung über Investitionsprioritäten und Pooling von Ressourcen, Integration von Organisationsbudgets).				X	
1.2.18. Portfoliooptimierung: Das Unternehmen hat Portfoliooptimierungsmodelle eingeführt, die verfügbare Ressourcen und Echtzeitmärkte beinhalten.				X	
1.2.19. Investmentprozess: Zusammenarbeitende Departements, Behörden und Organisationen haben Investment-Management-Prozesse etabliert (z. B. Joint Budgeting for Programms).				X	
1.2.20. Flexible Budgets: Budget passt sich an, um einen effektiven und transparenten System-weiten Ansatz erbringen zu können.				X	
1.2.21. Budgetvergabe: Budgets werden anhand einer ganzheitlichen Sicht vergeben.		X			
Umsetzungsgrade	-	B	B	F	E

Tabelle 93: Funding and Investment (DPMM finale Version)

1.3. Business Models	R1	R2	R3	R4	R5
1.3.1. Anpassung von bisherigen Geschäftsmodellen.		X			
1.3.2. Neue Geschäftsmodell-Möglichkeiten , die sich aus den Capabilities digitalisierter Produkte ergeben, können angeboten werden.				X	
1.3.3. Komptabilität mit digitalen Business Modellen : Vorhandene Produkte und Services sind kompatibel mit den digitalen Business Modellen, was mit entsprechend hochrangigen Ressourcen unterstützt wird.				X	
1.3.4. As-a-service-Geschäftsmodelle wurden eingeführt und werden angeboten.				X	
1.3.5. Open-Data-Marktchancen : Neue Marktchancen werden durch eine offene Daten-Community erzeugt.					X
1.3.6. Fusionierung und Übernahmen : Prozesse für Fusionierungen und Übernahmen, die eine vorteilhaftere aufsichtsrechtliche Behandlung beinhalten, sind entwickelt.				X	
1.3.7. Neue Customer-Service-Modelle werden ermöglicht (z. B. individuelle und personalisierte Verträge oder Service Level Agreements)				X	
1.3.8. Granulare Marktoptionen : Ressourcen sind angemessen lieferbar und kontrollierbar, so dass das Unternehmen sich granulare Marktoptionen zu Nutze machen kann (z. B. Locational Marginal Pricing).					X
1.3.9. Evaluation neuer Customer-Relationship-Modelle , z. B. Consumer-based Generation zusätzlich zur Utility-based Distribution im Energiesektor.		X			
1.3.10. Ressourcen-Prüfung : Die für die Umsetzung notwendigen Ressourcen sind verfügbar.	X				
1.3.11. Value Proposition : Gestaltung und Sicherstellung des Nutzen- bzw. Wertversprechens.		X			
Umsetzungsgrade	B	B	B	F	E

Tabelle 94: Business Models (DPMM finale Version)

B.2. DPMM: Dimension Organization and Governance

2.1. Organizational Structure and Culture	R1	R2	R3	R4	R5
2.1.1. IT-Open-Mindedness der Mitarbeiter: Offenheit der Mitarbeiter gegenüber neuen Technologien bzw. Wertschätzung von IT im Unternehmen im Allgemeinen.	X				
2.1.2. Knowledge/Information Sharing mit Externen: Teilen von Wissen bzw. Informationen mit externen Stakeholdern (z. B. auf regionaler und nationaler Ebene zur schnellen Handhabung von Events und Preisstabilität im Energiesektor; oder über Investmentprioritäten/regulatorische Strategien/etc. als Grundlage für Beratungen von denen die größere Gruppe profitiert).				X	
2.1.3. Innovationskultur: Etablierung einer Innovationskultur.					X
2.1.4. Structural Transformation: Struktur des Unternehmens ist für Transformation geeignet bzw. Struktur lässt sich anpassen, um neue Unternehmungen, Produkte und Services zu unterstützen, die sich aus dem digitalisierten Produkt ergeben.				X	
2.1.5. Kollaboration mit Stakeholdern: Die Organisationsstruktur ermöglicht die Kollaboration mit Stakeholdern (z. B. durch integrierte Arbeitsabläufe, neue Kollaborationsstrategien, umfassendes externes Teilen von Informationen).				X	
2.1.6. Digitalisiertes Produkt als Kernkompetenz: Das digitalisierte Produkt stellt die Kernkompetenz des Unternehmens dar und ist damit fundamental für die Art und Weise wie jeder im Unternehmen arbeitet.				X	
2.1.7. Visibility and Control Capabilities: Management-Systeme und Unternehmensstrukturen sind fähig umfassenden Nutzen aus den gestiegenen Visibility und Control Capabilities zu ziehen.				X	
2.1.8. Dezentralisierte Echtzeit-Entscheidungsunterstützung: Als Resultat einer effizienten Organisationsstruktur und der gestiegenen Verfügbarkeit von Informationen durch das digitalisierte Produkt, kann die Entscheidungsfindung nah dort passieren, wo sie gebraucht wird (Verkürzung der Befehlskette und Erhöhung der Effizienz). Dabei sind dezentralisierte Echtzeit-Entscheidungsfindung, Echtzeitkorrekturen u. ä. nun verfügbar, ebenso wie Rollen, Verantwortlichkeiten und gut definierte Arbeitsprozesse zur Unterstützung der täglichen Aktivitäten. Die Autorität bei Entscheidungen ist klar definiert und notwendige Koordinationsinteraktionen sind dokumentiert und werden befolgt.			X		
2.1.9. Organisationsübergreifende Strukturen: Organisationsübergreifende Governance-, Budget- und Performanzmanagementstrukturen sind etabliert, um die Strategie und Vision umzusetzen.				X	
2.1.10. Unternehmenskultur: Zusammenführung unterschiedlicher Unternehmenskulturen.				X	
Umsetzungsgrade	B	B	B	F	E

Tabelle 95: Organizational Structure and Culture (DPMM finale Version)

2.2. Governance Model	R1	R2	R3	R4	R5
2.2.1. Multi-Partner-Governance-Modell: Entwicklung eines transparenten, Multi-Partner-Governance-Modells für das Management und die Entwicklung von Rollen, Prozesse und Werkzeuge für die Entscheidungsfindung bzgl. der digitalisierten Produkte, bei dem die Service-Nutzer starke Einflussnehmer sind.				X	
2.2.2. Abgleich mit Vision: Governance-Strukturen sind mit der Vision abgeglichen.		X			
2.2.3. Innovationssystem: Leadership und Governance-Modell fördern ein Innovationssystem, das neue Kombinationen der Service-Delivery und größere Effektivität bzgl. der Auswirkungen auf strategischen Prioritäten voranbringt.					X
2.2.4. Arbeitsrechtlicher Vorschriften werden beachtet.	X				
2.2.5. Standards: Eignung technologischer Standards wird überprüft.	X				
2.2.6. Eigentumsrechte: Schutz intellektuellen Eigentums u.a. durch Klärung von Eigentümerschaft und Urheberrechten.		X			
2.2.7. Verantwortlichkeiten: Leadership- und Governance-Modelle entwickeln sich hinsichtlich geteilter (Budget-)Verantwortlichkeit für die Erbringung (systemweiter) Ergebnisse weiter.				X	
Umsetzungsgrade	B	F	F	F	E

Tabelle 96: Governance Model (DPMM finale Version)

2.3. Organizational Role	R1	R2	R3	R4	R5
2.3.1. Industrieleader: Das Unternehmen wird als Industrieleader anerkannt. Es übernimmt die Führungsrolle in Industrie-Konsortien und Public-Private-Partnerschaften.					X
2.3.2. Leader in Information Sharing, Standards & Best Practices: Das Unternehmen übernimmt eine Führungsrolle im industrie-weitem Teilen von Informationen und der Entwicklung von Standards und Best Practices.					X
2.3.3. Treiber von offenen Standards: Das Unternehmen treibt die industrielle Entwicklung und Einführung von offenen Standards voran (z. B. für Interoperability oder Sicherheit).				X	
2.3.4. Security Leader: Das Unternehmen übernimmt eine Führungsrolle in gemeinschaftsweiten Antworten auf Sicherheitsfragen.					X
2.3.5. Resilienz-Leader: Das Unternehmen ist führend in der Entwicklung und Förderung von industrieweiten Resilienz-Best-Practices und/oder Technologien zum Schutz der nationalen kritischen Infrastruktur.					X
Umsetzungsgrade	-	-	-	B	E

Tabelle 97: Organizational Role (DPMM finale Version)

B.3. DPMM: Dimension Stakeholder Management

3.1. Leadership	R1	R2	R3	R4	R5
3.1.1. Umsetzung Strategie und Vision: Sicherstellung der effektiven und schnellen Umsetzung der digitalisierten Produkt-Strategie und -Vision durch die Führungskräfte Hierfür haben diese die entsprechend dafür notwendigen Befugnissen über Funktionen und Geschäftsfelder hinweg sowie notwendige Kompetenzen und Engagement, um wettbewerbsfähig zu bleiben.		X			
3.1.2. Produkt/Projekt-Unterstützung: Weitverbreitete Unterstützung für digitalisierte Produkte/Projekte innerhalb der Führung und über das weitere Geschäft.				X	
3.1.3. Kommunikations- und Koordinations-Unterstützung: Führungskräfte erhalten Unterstützung (z. B. durch zentralisierte Innovation Groups), um die Vision mit externen Stakeholdern zu kommunizieren und zu koordinieren, die dann entsprechend (finanziell) unterstützt werden und deren Projekte mit den internen Stakeholdern abgestimmt sind.				X	
3.1.4. Kommunikation der Vision: Die Vision und Handlungen zur Erreichung der Vision sowie der Strategie werden klar und konsistent gegenüber den Mitarbeitern und Nutzern kommuniziert (z. B. Aufzeigen von Vorteilen und Potentialen mittels Use-Case-Szenarios).		X			
3.1.5. Innovationsökosystem fördern/leiten: Führungskräfte sind fokussiert darauf, ein Innovationsökosystem zu fördern und zu leiten.					X
Umsetzungsgrade	-	B	B	F	E

Tabelle 98: Leadership (DPMM finale Version)

3.2. Intra- and Cross-company Collaboration	R1	R2	R3	R4	R5
3.2.1. Abteilungsübergreifende Zusammenarbeit (<i>Anm.: keine weiteren Angaben durch die entsprechenden Quellen</i>).		X			
3.2.2. IT-Experten: Zuordnung von IT-Experten zu jeder Abteilung in der operative Einheiten und IT-Einheiten zusammenarbeiten.		X			
3.2.3. Unternehmensübergreifende Zusammenarbeit: Abteilungen sind offen für unternehmensübergreifende Zusammenarbeit, um Verbesserungen voranzutreiben.		X			
3.2.4. Partnerschaften gestalten: Aufbau zahlreicher Partnerschaften oder Neufindung traditioneller Partnerschaften.				X	
3.2.5. Kollaboration mit anderen Führungskräften (anderer Städte, Unternehmen, etc.) an Lösungen für grenzüberschreitende Herausforderungen wie dem Klimawandel sowie Teilen von Best Practices.					X
3.2.6. Branchenübergreifende Gruppen wurden gebildet, um smarte und digitale Kollaborationsinvestments voranzutreiben.				X	
3.2.7. Neue Formen der Kollaboration und des Teiles werden gefördert (inkl. der Wiederverwendung von Assets und Services zwischen Organisationen, Unterstützung für inter-organisationaler Arbeit, Einreichen gemeinsamer Bewerbungen um Mittel etc.).				X	
Umsetzungsgrade	-	B	B	F	E

Tabelle 99: Intra- and Cross-company Collaboration (DPMM finale Version)

3.3. Stakeholder Collaboration	R1	R2	R3	R4	R5
3.3.1. Gemeinsame Entwicklung mit den Stakeholdern z. B. an einer Vision, innovativen technologischen Lösungen (Co-Development, Co-Creation), Kollaborationsstrategien, und damit Involvierung interner und externer Stakeholder an allen relevanten Aspekten des Geschäfts (ggf. verbunden Gewinnbeteiligung und Leistungsverträge).				X	
3.3.2. Entwicklung von Stakeholder-Ökosystemen in Bezug auf spezifische Themen, zunächst mit internen Stakeholdern zur Bildung einer gemeinsamen Sprache, Ziele, gewünschten Ergebnissen, dann mit externen Stakeholdern.				X	
3.3.3. Förderung inklusiver Engagement-Kanäle: Entwicklung von (digitalen) inklusiven und personalisierten Engagement-Modellen/Kanälen/Umgebungen, die Innovation und kollaborative Ansätze fördern.				X	
3.3.4. Dokumentation digitaler Engagement-Strategien: Digitale Engagement-Strategien sind dokumentiert und beinhalten, wie Partner die digitale Exklusion adressieren.				X	
3.3.5. Vereinbarung digitaler Inklusionsstrategie: Eine digitale Inklusionsstrategie ist vereinbart, um die Nutzung digitaler Services durch Kundensegmente, denen es derzeit nicht möglich ist diese zu nutzen oder die nicht bereit sind diese zu nutzen, zu ermöglichen.		X			
3.3.6. Gemeinsame Terminologie und Referenzmodell: Eine gemeinsame und geteilte Terminologie und Referenzmodell sind etabliert und vereinbart mit allen in der Umsetzung/Ausführung involvierten Stakeholdern.				X	
3.3.7. Open-Data-Community: Open Data ist die Grundlage für Nutzer-Engagement um Innovation (z. B. neue Kombinationen der Service Delivery) und Transparenz zu ermöglichen, sowie neue Marktchancen zu generieren oder Alternativen zu öffentlichen Leistungserbringung zu schaffen.					X
3.3.8. Open Innovation (<i>Anm.: keine weiteren Angaben durch die entsprechenden Quellen</i>).					X
3.3.9. Workshops/Konferenzen: Aktive Beteiligung an industriespezifischen Workshops und Konferenzen in Bezug auf Technologieherausforderungen betreffend das digitalisierte Produkt (z. B. zu Themen wie Interoperabilität, Sicherheit, Resilienz).		X			
3.3.10. Weiterentwicklung von Industriestandards: Monitoring und aktive Beteiligung in Bemühungen der Gemeinschaft zur (Weiter-)Entwicklung von Industriestandards.					X
3.3.11. Vertragliche Vereinbarungen unterstützen Kollaborationen (z. B. Wettbewerbe, Events oder das Teilen gemeinsamer Assets).				X	
3.3.12. Stakeholder Engagement ist multi-direktional und personalisiert.				X	
3.3.13. Community-Engagement-Modelle (z. B. Co-Design/Co-Production) sind dokumentiert, um das Nutzer-geführte Service Redesign zu maximieren.				X	
3.3.14. Engagement-Pilot-Projekte: Einige Engagement-Pilot-Projekte für bestimmte Services unter der Nutzung digitaler Technologien wie z. B. Social Media wurden angestoßen.		X			

3.3. Stakeholder Collaboration	R1	R2	R3	R4	R5
3.3.15. Rollen: Neugestaltung der Stakeholder-Rollen.				X	
Umsetzungsgrade	-	B	B	F	E

Tabelle 100: Stakeholder Collaboration (DPMM finale Version)

3.4. Skill Development	R1	R2	R3	R4	R5
3.4.1. Management-Skills: Entwicklung von notwendigen Management-Kompetenzen und -methoden insb. zur Umsetzung der Vision.	X				
3.4.2. Mitarbeiter IT-Skills: In allen Unternehmensbereichen sind digitale und analytische (IT-)Skills der Mitarbeiter auf neuestem Stand und entsprechenden digitalisierten Produkt-Projekten zugeordnet.		X			
3.4.3. Open-Data-Skills: Unterweisung, wie die im offenen Zugriff stehenden Daten, z. B. durch Web Application Programming Interfaces (API), genutzt werden können, um Services zu entwickeln.					X
3.4.4. Mitarbeiter-Autonomie: Förderung der Autonomie der Mitarbeiter.		X			
3.4.5. Kunden-Medienkompetenzen: Entwicklung digitaler (Medien-) Kompetenzen von Kunden.		X			
3.4.6. Digitale Inklusion: Unterstützung oder alternative Vorkehrungen werden bereitgestellt, um Kunden aufgrund fehlender digitaler Kompetenzen nicht auszuschließen.		X			
3.4.7. Aus-/Fortbildungsprogramme: Koordination von Aus- und Fortbildungsprogrammen, um die Capabilities digitalisierter Produkte auszuschöpfen.		X			
3.4.8. Projekt- und Investitionsskills: Skills, die benötigt werden, um Projekte oder Investitionen abzuwickeln wurden abgebildet und Pläne zum Aufbau von Kapazitäten sind vorhanden.	X				
3.4.9. Delivery Skills: Skills und Expertise zur Unterstützung der Abwicklung des digitalisierten Produkts sind auf allen Ebenen vorhanden.		X			
3.4.10. Data Skills: Ressourcen mit spezifischen Daten-Skills werden aktiv entwickelt oder rekrutiert.	X				
Umsetzungsgrade	B	F	F	F	E

Tabelle 101: Skill Development (DPMM finale Version)

B.4. DPMM: Organizational Processes

4.1. Processes in General	R1	R2	R3	R4	R5
4.1.1. Dezentralisierung der Prozesse (<i>Anm.: keine weiteren Angaben durch die entsprechenden Quellen</i>).	*	*	*	*	*
4.1.2. Prozessoptimierung anhand der IT-Architektur: Die Geschäftsprozesse werden anhand der IT-Architektur so optimiert, dass die Architektur wirksam zum Einsatz kommen kann.				X	
4.1.3. Automatisierte Prozessoptimierung: Geschäftsprozesse werden automatisch optimiert, sobald dies durch Weiterentwicklungen im technologischen Bereich vorgegeben wird.				X	
4.1.4. Automatisierung und Integration: Das Unternehmen arbeitet mit Lieferanten und Kunden zusammen, um neue und innovative Möglichkeiten zur (intelligenten) Automatisierung und Integration (produktivitätssteigernder) Prozesse (z. B. städtisch Vorgänge in Smart Cities) zu finden.					X
4.1.5. Langfristiger Erfolg: Das Unternehmen/Institutionen/etc. akzeptieren aus Prozesssicht, dass der langfristige Erfolg auch Fehlschläge im Prozess inkludiert, um im Laufe der Zeit herauszufinden, was wirklich funktioniert.	X				
4.1.6. Value-Chain: Die Wertschöpfungskette des Unternehmens wurde anhand der Möglichkeiten des digitalisierten Produkts neu definiert.		X			
4.1.7. Feedback-Loops: Stakeholder-Feedback-Loops, z. B. in Form informeller Diskussionen mit Stakeholdern in Bezug auf ihre Erfahrungen und gewonnenen Erkenntnisse, sind vorhanden.	X				
4.1.8. Kollaboration: Kollaboration, das Teilen und der Transfer von Wissen (inkl. das Teilen von Best Practices und der Wissenstransfer mit z. B. anderen Smart Cities) ist ein formaler, geführter Prozess.				X	
4.1.9. Fortschrittmessung und Lessons Learned: Kontinuierliche Messung, Überwachung und Veröffentlichung des Fortschritts, wofür Key Performance Indicators (KPIs) vorhanden sind. Lessons Learned werden umgesetzt. Vision, Strategie und Roadmap entwickeln sich kontinuierlich weiter.				X	
4.1.10. Performanzevaluation: Evaluation der Performanz und/oder Kompensation sind mit dem Erfolg des digitalisierten Produkts verknüpft.		X			
4.1.11. Performanzmessung: Ein Framework für die Performanz- und Wirkungsmessung ist etabliert, um die Verantwortung bzgl. der Ergebniserzielung sicherzustellen und Fortschritte zu messen. Hierfür sind KPIs vorhanden und die Performanz wird regelmäßig veröffentlicht. Service-Leaders sind aufgefordert, intelligentere (smartere) Arbeitsformen zu bewerkstelligen.				X	
4.1.12. Performanzmetriken: Messbare Performanzmetriken für Stakeholder Engagement sind vorhanden und werden aktiv überwacht.				X	
4.1.13. Veränderungsprozess: Der Veränderungsprozesses wurde gestaltet (disruptiv, graduell).		X			
Umsetzungsgrade	B	B	B	F	E

Tabelle 102: Processes in General (DPMM finale Version)

4.2. Procurement, Sales, Services and Operation	R1	R2	R3	R4	R5
4.2.1. Sales und Services: Digitalisierung von Sales und Services.	X				
4.2.2. Service-Ergebnisse: Verbesserte Service-Ergebnisse sind bewiesen und untermauern zukünftige Service-Verbesserungen um Größenordnungen.				X	
4.2.3. After-Sales-Service: Im After Sales Services-Prozess profitiert das Unternehmen von den gesammelten Daten und kann eine weite Bandbreite an Services anbieten. Dabei kommen verschiedene moderne Technologien zum Einsatz (z. B. Mobile-, Virtualisierungs- und Cloud-Technologien).			X		
4.2.4. Operations Echtzeitdaten: Nutzung von Echtzeitdaten im operativen Management (z. B. zum dynamischen Smart-Grid-Management).			X		
4.2.5. Operations Ende-zu-Ende: Das Unternehmen hat die meisten operativen Arbeitsabläufe auf Ende-zu-Ende-Prozesse abgestimmt.		X			
4.2.6. Operations Integration: Arbeitsabläufe sind integriert.				X	
4.2.7. Operations Kosten und Service Levels: Die Kosten und Service Levels, die mit den Channels assoziiert sind, die die Dienstleistungen erbringen, sind aktuell und werden regelmäßig überprüft. Die Information wird genutzt um die zukünftige Strategie zu formen.		X			
4.2.8. Audit der Service-Kanäle: Ein aktuelles Audit der Kanäle, die genutzt werden, um (digitale und nicht-digitale) Services anzubieten, ist vorhanden.		X			
4.2.9. Procurement-Policies werden regelmäßig überprüft, um Verbesserungsbarrieren abzubauen. Lieferanten werden aktiv in den Prozess eingebunden.				X	
4.2.10. Procurement-Strategie: Für die Involvierung der Industrie in Procurement-Strategien (frühzeitiges, iteratives Einbinden potentieller Lieferanten bevor Procurement-Möglichkeiten veröffentlicht werden) ist ein formaler Prozess etabliert.				X	
4.2.11. Organisationsübergreifendes Procurement: Organisationsübergreifende Beschaffungen sind umfangreich umgesetzt.				X	
4.2.12. Inhaltsbereitstellung: Qualitativ hochwertige Inhalte werden kontinuierlich passend zum Bedarf der Nutzer bereitgestellt.		X			
Umsetzungsgrade	B	B	F	E	E

Tabelle 103: Procurement, Sales, Services and Operation (DPMM finale Version)

4.3. Development and Manufacturing	R1	R2	R3	R4	R5
4.3.1. Anforderungen: Die segmentierten Bedürfnisse spezifischer Kundengruppen sind dokumentiert.	X				
4.3.2. Entwicklungs-Barrieren: Barrieren der Entwicklung sind identifiziert und dokumentiert.	X				
4.3.3. Technologieauswahl und -evaluation: Für alle Aktivitäten des digitalisierten Produktes existiert ein Technologieevaluations- und -auswahlprozess.		X			
4.3.4. Co-Development: Nachhaltige Co-Development-Praktiken durch systematische Prüf- und Verbesserungszyklen, die ökonomische, ökologische, gesellschaftliche und andere verschiedene Werte abdecken, sind vorhanden.					X
4.3.5. Change Process für Anwendungen und Infrastruktur: Etablierung eines Veränderungskontrollprozesses für Anwendungen und die IT-Infrastruktur (z. B. für Ergänzungen, Upgrades oder Patches).				X	
4.3.6. Neue digitale Technologien: Es existiert ein formaler Prozess, um neue digitale Technologien zu identifizieren, die in einem iterativen und agilen Verfahren (z. B. in der ganzen Smart City) eingeführt werden.					X
4.3.7. Einsatz von Daten: Die Nutzung von Daten bei der Entwicklung neuer Produkte ist auf hohem Niveau.				X	
4.3.8. Produkt-Simulationen: Die Simulation der Fertigbarkeit und der Nutzungsbedingungen des Produktes während der Produktentwicklung sind auf hohem Niveau.				X	
4.3.9. Ressourcenplan: Ein integrierter Ressourcenplan, der z. B. versucht ein effizientes Gleichgewicht zwischen verschiedener Typen der Strom-Generierung, sowie des Angebots und der Nachfrage zu etablieren, ist vorhanden und inkludiert neue zielgerichtete Ressourcen und Technologien.				X	
4.3.10. Testing: Pilot-Projekte oder Demonstrationen werden durchgeführt.		X			
4.3.11. Pilot-Kollaborations-Projekte zwischen Partnern wurden etabliert und erfordern die Reorganisation von Departments und Budgets.				X	
4.3.12. Inbetriebnahme der Services: Es existiert ein integrierter strategischer Ansatz für die Inbetriebnahme der Services.			X		
4.3.13. Clock Speeds: Synchronisierung von Clock Speeds der physischen Produkt- und Technologieentwicklung ist sichergestellt.		X			
4.3.14. Kommunikation: Design-Ziele sind zwischen allen an der Gestaltung beteiligten Stakeholder klar kommuniziert.				X	
Umsetzungsgrade	B	B	B	F	E

Tabelle 104: Development and Manufacturing (DPMM finale Version)

4.4. Asset Management	R1	R2	R3	R4	R5
4.4.1. Übergreifender Asseteinsatz: Der Einsatz von Assets – übergreifend und zwischen Beteiligten in der Lieferkette – ist durch gemeinsam definierte und ausgeführte Prozesse optimiert.				X	
4.4.2. Verbundene Assets: Verbundenen Assets (z. B. kabellose Sensoren, Kameras, intelligentes Straßenlicht), die zu einem Systems-of-Systems beitragen und Echtzeit-Informationen zur Wiederverwendung anbieten, werden in der Nutzungsumgebung der digitalisierten Produkte eingesetzt.					X
4.4.3. Performanz- und Einsatzoptimierung: Die Performanz und der Einsatz von Assets (vom Einkauf bis zum Ruhestand) ist unter Berücksichtigung der gesamten Asset Fleet und aller Asset-Kategorien optimiert (inkludiert z. B. ein effizientes Inventarmanagement).				X	
4.4.4. Automatisierte Optimierung: Die Optimierung der digitalisierten Produkte-Assets ist über die gesamte Wertschöpfungskette automatisiert.					X
4.4.5. Nutzenmaximierung: Die Daten und Systeme digitalisierter Produkte sind die Grundlage für die Nutzungsmaximierung von Assets, inklusive just-in-time Asset Retirement.					X
4.4.6. Asset-Modelle basieren auf echten (sowohl aktuellen als auch historischen) Performanz- und Monitoring-Daten (Asset Modelle beinhalten idealerweise finanzielle Analysen per Asset und berücksichtigen die gesamten Lebenszykluskosten).				X	
4.4.7. Assetklassen-Ansicht: Eine vollständige Ansicht auf Assetklassen (inklusive Ort und Wechselbeziehungen) – basierend auf Status (inkl. Sicherheitszustand), Verbindung, und Nähe – ist für das Unternehmen (Ausrüstung, Menschen, Information) verfügbar.				X	
4.4.8. Assetregister: Ein Assetregister in dem alle Daten mit den jeweiligen IT-Assets abgebildet sind ist etabliert.				X	
Umsetzungsgrade	-	-	-	F	E

Tabelle 105: Asset Management (DPMM finale Version)

B.5. DPMM: Dimension Technology Support and Communication

5.1. IT Architecture	R1	R2	R3	R4	R5
5.1.1. Standards und Frameworks: Es werden (offene) und aktuelle Standards und Frameworks ausgewählt, die die Strategie der digitalisierten Produkte unterstützen und für die digitalisierten Produkte (z. B. Smart Grid) entwickelt oder geeignet sind.		X			
5.1.2. Moderne IT: Moderne Informationstechnologien (z. B. mobile Geräte, Triggering-Technologien) werden umfassend eingesetzt.		X			
5.1.3. Verbesserung und Ressourcennutzung: Die Technologie und der Einsatz anspruchsvoller Systeme (z. B. Business-Intelligence- und Wissensmanagement-Systeme) sind Basis für Verbesserung von Prozessen und der Performanz sowie für die optimale Ressourcennutzung.				X	
5.1.4. IT-Dashboards: Es werden IT-Dashboards eingesetzt.			X		
5.1.5. Awareness, Echtzeit-Überwachung und -Steuerung: Systeme haben ausreichend flächendeckende situationsbezogene Wahrnehmung (<i>Awareness</i>), um Echtzeit-Überwachung, -Steuerung und Schadensminderung als Reaktion auf komplexe Ereignisse (z. B. Naturkatastrophen, Unwetter, extreme Bedarfsschwankungen) zu ermöglichen.			X		
5.1.6. Automatische Vorfallerkennung: Die Unternehmensinformationsinfrastruktur kann automatisch Vorfälle im Cyberspace identifizieren, entschärfen und sich davon erholen.				X	
5.1.7. Dynamisches IT- und Capability-Management (z. B. von Tourismus-Capabilities).					X
5.1.8. Interoperabilität etablieren: Schlüsselgebiete für Interoperabilität wurden identifiziert und die Prinzipien umgesetzt sowie die Anwendung gemeinsamer Sprachen zwischen System-Architekturen.		X			
5.1.9. Organisationsübergreifende Infrastruktur: Pilot-Services berücksichtigen die Interoperabilität von Daten zwischen Organisationen und etablieren eine geteilte Technologie-Infrastruktur.		X			
5.1.10. Organisationsübergreifende und anwendungsdomänenweite Lösungen: Shared-Architecture-Lösungen und Interoperabilität werden priorisiert, Investment-Roadmaps dokumentiert und durch dedizierte Mitarbeit werden Barrieren abgebaut. Die Strategie und der Investmentplan für anwendungsdomänenweite Lösungen sind vereinbart.					X
5.1.11. Skalierbare und intuitive IT-Infrastruktur: Die ICT-Infrastruktur-Lösung ist skalierbar, um eine steigende Nutzung (insb. durch mobile Objekte) zu ermöglichen, und intuitiv, um Angebot und Nachfrage vorherzusagen und sich anzupassen.		X			
5.1.12. IT-Architektur-Plan: Ein Plan für die Umsetzung oder Anpassung der IT-Architektur, damit digitalisierte Produkte ermöglicht werden können, wurde entwickelt und wird umgesetzt.		X			
5.1.13. System-Architektur-Maps sind vollständig dokumentiert und weitestgehend geteilt und offen, wo möglich.				X	
5.1.14. IT-Architektur-Evaluation: Das Unternehmen evaluiert die existierende oder vorgeschlagene IT-Architektur anhand von		X			

Qualitätsattributen, die die Anwendungsmöglichkeiten digitalisierter Produkte unterstützen (z. B. Interoperabilität, Sicherheit, Modifizierbarkeit).					
5.1.15. Resilienz: Das Unternehmen erfüllt seine kritischen Infrastruktur-Assurance-Ziele für Resilienz und wirkt bei denen der Region und des Landes mit.					X
5.1.16. Systemintegration: Kosten, Vorteile und Barrieren der Systemintegration wurden identifiziert und dokumentiert.		X			
5.1.17. System-of-Systems: Klare Vorteile eines System-of-Systems-Ansatzes sind bewiesen.					X
5.1.18. Infrastruktur: Analyse, Auswahl und Etablierung einer neuen Infrastruktur und notwendiger Werkzeuge für die Entwicklung, den Betrieb und die Evaluation der digitalisierten Produkte.		X			
Umsetzungsgrade	B	B	F	F	E

Tabelle 106: IT Architecture (DPMM finale Version)

5.2. Department Systems	R1	R2	R3	R4	R5
5.2.1. Sichtbarkeit und Steuerung: Management und operative Systeme bauen auf und nutzen alle Vorteile der erhöhten Sichtbarkeit (End-to-End Visibility) und integrierten Steuerung quer durch das Unternehmen.				X	
5.2.2. Integration von Supply-Chain-Systemen und Echtzeitplanung: Supply-Chain-Systeme sind vollständig zwischen Unternehmen, Lieferanten und Kunden integriert und stellen daher die Möglichkeit der Echtzeitplanung zur Verfügung.				X	
5.2.3. Integration von Kampagnensystemen und Verkaufskanälen: Kampagnensysteme und Verkaufskanäle haben ein hohes Level an Integration.		X			
5.2.4. Automatisierung Finanzdienstleistungen und Echtzeitdatenanalysen: Die Automatisierung von Finanzdienstleistungen ist auf hohem Niveau und Analysen basieren im Allgemeinen auf Echtzeitdaten.			X		
5.2.5. Automatisierte Produktion: Produktionssysteme sind auf Produktionslinie/-zellenebene automatisiert oder auf Fabrikebene teilautomatisiert.				X	
5.2.6. Operation Process Traceability: Die Betriebsprozess-Rückverfolgbarkeit (<i>Operation Process Traceability</i>) wird auf Fabrikebene innerhalb der digitalen Umgebung bereitgestellt.				X	
Umsetzungsgrade	-	B	B	E	E

Tabelle 107: Department Systems (DPMM finale Version)

5.3. Communications and Networks	R1	R2	R3	R4	R5
5.3.1. Übergreifendes Echtzeit-Netzwerk und Datenaustauschstrukturen: Allgegenwärtige, sichere und intelligente Hochgeschwindigkeitsnetzwerke (Echtzeit) und Datenaustauschstrukturen zwischen allen Stakeholdern, die darüber hinaus mit anderen Branchen verbunden sind.					X
5.3.2. Konvergiertes Netzwerkdesign: Ein Masterplan für ein konvergiertes Netzwerkdesign mit einem einzigen, einheitlichen Netzwerk (keine Silos) ist vorhanden.				X	
5.3.3. Heimnetze: Kundenaccounts werden durch Heimgeräte und Heimnetze (<i>Home Area Network</i>) verwaltet.				X	
5.3.4. Sicheres Informationsnetzwerk: Kundenseitige Energie-Management-Lösungen mit Markt- und Nutzungsinformationen werden ermöglicht. Das Unternehmen stellt hierfür ein sicheres Informationsnetzwerk zur Verfügung.			X		
5.3.5. Energieversorger-Netzwerk: Der Energieverbrauch und die Geräte der Endnutzer werden aktiv durch das Energieversorger-Netzwerk verwaltet (wo angemessen).				X	
5.3.6. Breitbandinfrastruktur: Durchdringung mit neuester Breitbandinfrastruktur und Geräten zur Datenerfassung (wie z. B. Sensoren, Kameras).			X		
5.3.7. Daten-Kommunikationsstrategie: Das Unternehmen besitzt eine detaillierte Daten-Kommunikationsstrategie für das digitalisierte Produkt und begleitende Taktiken (z. B. eine Governance für die Auswahl von Verbindungen, damit alle Systeme zusammenarbeiten können unabhängig ihres Daten-Ursprungs oder -Ziels). Diese sind Funktions- und Geschäftsfeld-übergreifend und enthalten Entscheidungen u. a. bzgl. der Typen physischer Kommunikationsinfrastruktur (z. B. Breitband oder Wireless), Protokolle (z. B. IP) und andere Standards (z. B. für Sicherheit oder Interoperabilität)..		X			
5.3.8. Produkt-Kommunikation: Die Produkte des Unternehmens sind fähig mit anderen Produkten, Plattformen und Systemen zu kommunizieren.				X	
5.3.9. M2M-Kommunikation: Einsatz von Machine-to-Machine-Kommunikation (M2M-Kommunikation).				X	
5.3.10. Zweiwege-Meter-Kommunikation wird für eine signifikante Anzahl an Kunden eingesetzt.			X		
5.3.11. Partner-Kommunikation: Hohe Integration der Kommunikationskanäle mit Partnern (Fokus Geschäftsprozesse).				X	
5.3.12. Nutzer-Kommunikation: Multiple Kanäle werden genutzt, um mit den Nutzern (z. B. Stadtbewohner, Unternehmen), basierend auf deren Präferenzen, zu interagieren. Dies beinhaltet u. a. Telefon, Face-to-Face, Web, Social Media, mobile Apps. Digitale Kanäle werden dabei mit nicht-digitalen Kanälen integriert.			X		
5.3.13. Engagement-Möglichkeiten: Physische Räume und virtuelle Mechanismen wurden geschaffen, die Möglichkeiten für neue Engagement-Modelle bieten und innovative Entwicklung stimulieren, um spezifische Herausforderungen zu lösen. Virtuelle Mechanismen bieten die Möglichkeit für online Co-Working durch z. B. Foren, Knowledgehub, Basecamp oder virtuellen Communities.					X

5.3. Communications and Networks	R1	R2	R3	R4	R5
5.3.14. Heterogene Objekte: Analyse und Maßnahmenplanung der Heterogenität der Objekte und damit verbundene Herausforderungen (z. B. Remote Device Management, Adress- und Netzwerkprobleme).		X			
Umsetzungsgrade	-	B	B	F	E

Tabelle 108: Communications and Networks (DPMM finale Version)

B.6. DPMM: Dimension Product Design

6.1. Product IT Architecture	R1	R2	R3	R4	R5
6.1.1. Plattform: Die Produkte besitzen eine Plattform auf der die Produkte oder die Cloud-Anwendungen arbeiten.				X	
6.1.2. Sensorplan: Das Unternehmen besitzt einen fortgeschrittenen Sensorplan, kann sich auf Situational Awareness oder fast Echtzeitsteuerung fokussieren und z. B. die Nutzung von hochentwickelten Sensoren inkludieren. Es besitzt zudem einen ergänzenden Maßnahmenplan für den Einsatz weniger hochentwickelter Sensoren.			X		
6.1.3. Produktintegration: Integration von Produkten in andere Systeme.				X	
6.1.4. Substitute: Ergänzende Ressourcen (z. B. Speicher) sind verfügbar und einsatzbereit, um Substitute für Marktprodukte anzubieten, und damit Verlässlichkeit bzw. Ausfallsicherheit oder andere Ziele zu unterstützen *insb. in Domänen, die eine Gefährdung menschlichen Lebens bedingen, notwendig.		X			
6.1.5. Spitzentechnologien kommen zum Einsatz, z. B. für die Grid-Stabilität.					X
6.1.6. Produkt-Tracking: Produkte können entlang ihres kompletten Lebenszyklus verfolgt werden.	X				
6.1.7. Nachfragespitzen: Programme zur Verringerung von Nachfragespitzen sind etabliert (z. B. Demand Response Programs, Dynamic Pricing Signals, Managed Control of Devices).				X	
6.1.8. Ausfallsicherheit: Das Unternehmen modelliert die Ausfallsicherheit des Equipments des digitalisierten Produkts (z. B. Grid-Equipments) und informiert damit auch über Verbesserungsinvestitionen *insb. in Domänen, die eine Gefährdung menschlichen Lebens bedingen, notwendig.		X			
6.1.9. Nutzer-Infrastruktur: Die notwendige Technologie-Infrastruktur ist bei den Nutzern vorhanden.		X			
6.1.10. Ressourcen-Einschränkungen: Berücksichtigung begrenzter Hardware-Ressourcen der physischen Produkte durch Planung und Umsetzung von entsprechenden Maßnahmen (z. B. Load Balancing) und Substituten (z. B. Intermediäre) im Architektur-Design, u. a. zur Ermöglichung von Sicherheits- und Privatsphärenmaßnahmen.		X			
Umsetzungsgrade	B	B	F	F	E

Tabelle 109: Product IT Architecture (DPMM finale Version)

6.2. Service Design	R1	R2	R3	R4	R5
6.2.1. Service-Angebot: Unternehmen bietet Dienstleistungen/ Erkenntnisse zu ihrem Geschäft, Kunden und Partnern basierend auf den durch Produktverbesserung erhaltenen Daten an.				X	
6.2.2. Innovative Kundenprodukte sind möglicherweise verfügbar (z. B. Appliance Failure Prediction, Preventive Maintenance Programs).					X
6.2.3. Stakeholder Integration: Formale Prozesse, die Anbieter, Lieferanten und Nutzer in einem frühen Stadium in das Service Design als Inputgeber einbinden, sind dokumentiert.				X	
6.2.4. Öffentliche Partizipation: Social Media und Mobile Apps werden genutzt, um die öffentliche Partizipation zu ermöglichen, Meinungen einzuholen und in das Service Design im Rahmen eines etablierten formalen Prozesses miteinfließen zu lassen.				X	
6.2.5. Digitale Services: Levels of Access und take-up digitaler Services sind bekannt, geteilt und verstanden. Die Information wird genutzt, um zukünftige Entwicklung von digitalen Services zu priorisieren.		X			
6.2.6. Service Levels: Die zu erzielenden Ergebnisse und Service-Levels (z. B. der Smart City) sind definiert, nicht nur In- und Outputs.		X			
6.2.7. Unternehmensübergreifende Services: Die Nutzer profitieren von integrierten Services zwischen Unternehmen unter Nutzung der für sie besten digitalen Technologie.				X	
6.2.8. Customer Experience: Eine Standard-Kundenerfahrung (engl. <i>customer experience</i>) wurde integriert, die über sämtliche Kundenkontaktpunkte für alle Services angeboten wird.				X	
6.2.9. Produktindividualisierung: Produkte können (auf hohem Niveau) individualisiert werden.			X		
6.2.10. Nachhaltigkeit: Services für Nachhaltigkeit werden angeboten (z. B. Carbon-Emission-Programme).					X
6.2.11. Steuerungsmöglichkeiten: Den Kunden werden verschiedene Steuerungsmöglichkeiten (z. B. mittels Präferenzprofile oder aktives Management) angeboten, für z. B. Remote Connect und Disconnect, Nutzungslevel-Verwaltung, End-to-End-Energy-Supply-Verwaltung oder Energy-based-Environmental-Footprint-Kontrolle.				X	
6.2.12. Verbrauchsniveau und Empfehlungen: Das Verbrauchsniveau nach Geräte ist verfügbar, genauso wie Preis-basierte Gebrauchszeit-Empfehlungen (dies ist nur unter der Annahme möglich, dass die Fähigkeit der Überwachung individueller Geräte umgesetzt wurde).					X
6.2.13. In-home Net-Billing-Programme werden ermöglicht (z. B. für durch Kunden ans Grid verfügbar gemachter Strom von Solar Panels oder Elektrofahrzeuge).				X	
6.2.14. Bürger-Accounts sind verfügbar und anwendbar auf den vollen Serviceumfang in der Stadt. Die geteilten persönlichen Daten sind dabei sicher.					X
6.2.15. Heterogene Informationen: Entwurf eines Designs, das die Vielzahl heterogener Informationen und deren Darstellungsoptionen berücksichtigt.			X		

6.2. Service Design	R1	R2	R3	R4	R5
6.2.16. Short/Long-Term Use und Redesign-Planung: Gestaltung des Designs für Short- oder Long-Term-Use unter Berücksichtigung ökologischer und ethischer Implikationen und damit verbundene Planung zukünftiger Redesigns zur Nutzungszeit.					X
6.2.17. Kohärenz der visuellen Darstellung und des Systemverhaltens über alle Touchpoints hinweg wurde erzielt.			X		
6.2.18. Nutzerinteraktion: Es wurden Maßnahmen ein- und durchgeführt, um werterzeugende Interaktionen mit dem Nutzer zu schaffen und aufrechtzuerhalten.			X		
6.2.19. User Experience: Während des Service Designs wird die Nutzererfahrung (User Experience) konkret adressiert und entsprechende Maßnahmen hierfür ergriffen, die dabei auch berücksichtigen, dass die dabei notwendige Bedienung nicht als ablenkend vom Produkt empfunden wird.			X		
6.2.20. Wahrgenommene Autorität: Während des Service Design wird die wahrgenommen Autorität der Nutzer bei Zielvorgaben und Handlungsempfehlungen durch das Produkt geprüft und ggf. notwendige Maßnahmen zur Sicherstellung ergriffen.			X		
6.2.21. Wartungsaufwand: Praxistests überprüfen den Aufwand für regelmäßig notwendiger Wartungsarbeiten durch den Nutzer.			X		
6.2.22. Funktionalitätsverordnung: Es ist geklärt, inwieweit Funktionalität im digitalisierten Produkt eingebettet wird oder durch die Cloud bereitgestellt wird. Dies geschieht unter der Berücksichtigung von Faktoren wie z. B. Kosten, notwendige Antwortzeiten, Netzwerkverfügbarkeit und -zuverlässigkeit, Sicherheit, Produkteinsatzort und Häufigkeit von Produktupgrades.			X		
Umsetzungsgrade	-	B	B	F	E

Tabelle 110: Service Design (DPMM finale Version)

6.3. Data and AI	R1	R2	R3	R4	R5
6.3.1. Datensammlung und -speicherung: Die Unternehmensprodukte sind fähig, Daten zu sammeln und sie innerhalb ihres Systems oder in der Cloud aufzubewahren.		X			
6.3.2. Entscheidungsfindung: Systemweite analysebasierende und automatische Entscheidungsfindung des digitalisierten Produktes ist umgesetzt. (Diese Fähigkeit ist abhängig von vollständiger Beobachtbarkeit und Vertrauen. Ob hierbei zentralisierte oder verteilte Steuerung besser geeignet ist, sollte im Rahmen der Strategie und Entwurf jedes Unternehmens adressiert werden).					X
6.3.3. Autonomic Computing unter Nutzung von Machine Learning wurde eingeführt. Der menschliche Operator erhält dadurch eine neue Rolle indem er allgemeine Richtlinien und Regel definiert, die als Input für den Self-Management-Prozess dienen, der wiederum in Echtzeit durch das rechnergestützte System verwaltet wird.					X
6.3.4. Verteilte Intelligenz und analytische Capabilities: Die für die digitalisierten Produkte genutzte Technologie ermöglicht den Einsatz von fortgeschrittener verteilter Intelligenz und analytischer Capabilities.				X	
6.3.5. Behavior Modeling: Der Einsatz von Behavior Modeling ergänzt die Kundensegmentierung für die Entwicklung von Kundenprofilen.				X	
6.3.6. Predictive Modelling: Nutzung der Möglichkeiten des Predictive Modelling von Kundenbedürfnissen, z. B. zur Ermittlung von Bedarfsspitzen bei der Stromversorgung.				X	
6.3.7. Datenanalysen: Die Produkte können deskriptive, diagnostische, prädiktive und präskriptive Datenanalysen durchführen.				X	
6.3.8. Selbsteilungsfähigkeiten bzw. -konzepte (inklusive Personen, Prozesse, etc.) sind vorhanden. So kann z. B. ein Smart Grid dadurch automatisch Störungen in der Stromversorgung antizipieren und entsprechend reagieren (Isolation von ausgefallenen Sektionen und Komponenten, Optimierung der Performanz und der Services, etc.).					X
6.3.9. Objekt-Überwachung: Einzelne Geräte bzw. Objekte können überwacht werden, wodurch die automatisierte Erfassung von Ausfällen anderer Geräte als dem digitalisierten Produkt, die aber Teil des Netzwerks sind, möglich ist.					X
6.3.10. Nutzungsdaten: Kunden haben Zugriff auf fast Echtzeitdaten bzgl. ihrer eigenen Nutzung (on-demand, up-to-the-minute).			X		
6.3.11. Automatisierte Reaktion auf Preissignale (z. B. Leistungsanfrage wird bei hohen Preisen verringert) ist möglich (inkludiert nicht nur die dafür nötige Technologie, sondern auch die Schulung der Nutzer in Bezug auf diese Fähigkeit).			X		
6.3.12. Kunden-Support: Kunden erhalten Unterstützung bei der Analyse und dem Vergleich ihrer Nutzung mit allen verfügbaren Preisprogrammen.			X		
Umsetzungsgrade	-	B	B	F	E

Tabelle 111: Data and AI (DPMM finale Version)

B.7. DPMM: Dimension Organizational Data and Analytics

7.1. Data Acquisition and Integration	R1	R2	R3	R4	R5
7.1.1. Datenerfassung: System-weite Datenerfassung vorhanden.		X			
7.1.2. Echtzeitdatenerfassung: Möglichkeiten zur Erfassung von Echtzeitdaten werden dabei mittels eines geführten Prozesses identifiziert und erforscht.			X		
7.1.3. Mega-Data-Pattern-Processing von Ressourcen und Daten (<i>Anm.: keine weiteren Angaben durch die entsprechenden Quellen</i>).				X	
7.1.4. Datenprozesse werden kontinuierlich überwacht, geprüft und auf agile Weise entwickelt, um die Optimierung sicherzustellen		X			
7.1.5. Stammdatenmanagement (engl. Master Data Management) ist einsatzbereit.	X				
7.1.6. Integration von Ressourcen und Daten (<i>Anm.: keine weiteren Angaben durch die entsprechenden Quellen</i>).	X				
7.1.7. Big-Data-Integrationsanforderungen und Werkzeuge: Big-Data-Integrationsanforderungen sind verstanden und Werkzeuge zur Integration der Daten aus einer Vielzahl von Quellen sind vorhanden.				X	
7.1.8. Multiple Nutzer: Konfliktmanagementlösungen bei multiplen Nutzern zur Erfassung der korrekten Kontextdaten sind umgesetzt.			X		
7.1.9. Innovative Ansätze für die Datensammlung sind umgesetzt (z. B. Erfassung von emergenten Wissen oder des kognitiven Kontext des Nutzers).	*	*	*	*	*
Umsetzungsgrade	B	B	F	E	E

Tabelle 112: Data Acquisition and Integration (DPMM finale Version)

7.2. Data Analysis and Application	R1	R2	R3	R4	R5
7.2.1. Echtzeitdaten-Analysen: Analysen (inkl. Modellierung und Simulationen) basieren generell auf Echtzeitdaten.				X	
7.2.2. Echtzeitdaten-Wiederverwendung: Echtzeitdaten werden für die Wiederverwendung verfügbar gemacht, inklusive durch APIs.			X		
7.2.3. System-Verbesserung: Performanz-, Trendanalysen- und Event-Audit-Daten sind für individuelle Komponenten der Cyber-Systeme und physischen Systeme des Unternehmens verfügbar.			X		
7.2.4. Service-Verbesserung: Datenerfassung und -analysen werden für die (dynamische, automatisierte, vorausschauende und vorsorgliche) Verbesserungen der Dienstleistungen und deren Design eingesetzt.			X		
7.2.5. Preisermittlung: Umgebungsdaten werden für den Produktpreis und die dynamische Preisermittlung genutzt.			X		
7.2.6. Prozess-Verbesserung: Die operativen Daten des digitalisierten Produkts werden genutzt um die Unternehmensprozesse zu verbessern.		X			
7.2.7. Prozess-Support: In Betriebsabläufen mit Personal (engl. <i>Human Resources Operations</i>) werden die gesammelten Daten unterstützend eingesetzt.		X			
7.2.8. Support-Prozess-Optimierung: Predictive Modeling und/oder Fast-Echtzeit-Simulationen werden genutzt, um die Support-Prozesse zu optimieren.			X		
7.2.9. Erfolgsmessung (Kampagnen): Datenanalysen werden eingesetzt, um die Performanz der Kampagnen zu messen.		X			
7.2.10. Produktverbesserung (Betriebsdauer): Condition-based und Predictive Maintenance basierend auf echten und aktuellen Datenbeständen werden eingesetzt, um die Betriebsdauer von Komponenten des digitalisierten Produkts zu steuern.			X		
7.2.11. Echtzeit-Event-Reaktionen: Die Datenanalysen werden für Echtzeitreaktionen auf nicht vorhersehbare Events eingesetzt.			X		
7.2.12. Vorhersagen: Die Daten, die durch die Capabilities des digitalisierten Produktes gesammelt werden, werden für operationelle Vorhersagen (z. B. Problemvorhersagen) genutzt.			X		
7.2.13. Entscheidungsfindung: Die Datenbestände werden genutzt um handlungsrelevante Informationen zur Verfügung zu stellen, sodass die darauf basierenden Datenanalysen zur Verbesserung der Entscheidungsfindung eingesetzt werden.			X		
7.2.14. Automatisierte Entscheidungsfindung in Bezug auf den operativen Betrieb des digitalisierten Produktes ist vorhanden. Diese basiert auf Wide Area Monitoring innerhalb von Protection Schemes (Plan zur Sicherstellung der Stabilität).			X		
7.2.15. Organisationsübergreifend Datenanalysen: Datenanalysen werden umfangreich und organisationsübergreifend eingesetzt, um die Dienstleistungserbringung, das Teilen von Informationen und den besseren Einsatz von Ressourcen zu unterstützen.				X	
7.2.16. Situational Awareness: Daten des digitalisierten Produkts werden von den Sicherheitsfunktionen des Unternehmens genutzt, um die Situational Awareness und Diagnosemaßnahmen zu unterstützen.			X		

7.2. Data Analysis and Application	R1	R2	R3	R4	R5
7.2.17. Kundengruppensicht: Eine vollständige Sicht auf spezifische Kundengruppen ist vorhanden und wird durch eine integrierte Geschäfts- und Informationsarchitektur unterstützt.		X			
Umsetzungsgrade	-	B	F	E	E

Tabelle 113: Data Analysis and Application (DPMM finale Version)

7.3. Data Sharing	R1	R2	R3	R4	R5
7.3.1. Vorgaben und Performanz: Data-Sharing-Vorgaben existieren und die Performanz wird gemessen.		X			
7.3.2. Unternehmensinterne End-to-end Observability: Informationen des digitalisierten Produktbetriebs wurde über alle Funktionen und Geschäftsfelder hinweg verfügbar gemacht, so können z. B. auch Außendienstmitarbeiter auf Echtzeitdaten zugreifen.			X		
7.3.3. Wertschöpfungskette: Das Unternehmen identifiziert Kosten, Vorteile und Bedarf an Information Sharing innerhalb der Wertschöpfungskette.		X			
7.3.4. Partner (Policies, Strategie): Die Partner haben sich auf eine Datenmanagement- und Optimierungsstrategie sowie Data-Sharing-, Privacy- und Management-Policies geeinigt, die miteinander (Strategie und Policies) verknüpft sind.				X	
7.3.5. Partnern (Gebührenerfassung): Eine formale Richtlinie ist vorhanden und ein Prozess für die Gebührenerfassung für die Daten und den Einkauf zusätzlicher 3rd-Party-Daten zur Nutzung zwischen Partnern.				X	
7.3.6. Organisationsübergreifend (Governance): Eine Governance-Struktur, um die organisationsübergreifende Erfassung und das Teilen von Echtzeitdaten zu unterstützen, ist vorhanden. Alle Unternehmen, die Command-Control-Response-Anforderungen besitzen, sind involviert.				X	
7.3.7. Stakeholder (Transparenz): Die Stakeholder (z. B. Industrie, Hochschulen, Regierung, Bürger) teilen vertrauenswürdige Daten (in großem Umfang) miteinander.				X	
7.3.8. Open Data (Strategie): Open-Data-Initiativen basieren auf einer Strategie, um Ideen mittels Crowdsourcing zu generieren (z. B. Hackathons), Zugriff auf lokale Talente zu erhalten oder Betrieben die Nutzung von Daten für die Entwicklung kommerzieller Services zu ermöglichen (Innovation).					X
7.3.9. Open Data (Community-Developments): Die Open-Data-Community generiert neue Marktchancen/Services und schaffen Alternativen zur öffentlichen Leistungserbringung					X
7.3.10. Open Data (Community-Support): Ein Portal, physische Räume und virtuelle Mechanismen (z. B. Online Foren, Collaborative Workspaces) für das Teilen von Open Data sind vorhanden und unterstützen die Open-Data-Communities.					X
7.3.11. Beschaffung: Interoperabilität basierend auf offenen Standards und das Öffnen von Daten ist von Anfang an in allen Beschaffungen konzipiert. Lieferanten-lock-in wird, wenn möglich, vermieden.				X	

7.3. Data Sharing	R1	R2	R3	R4	R5
7.3.12. Datenanfragen durch Kunden: Ein geführter Prozess für Kunden (z. B. Bürger oder Geschäfte einer Smart City) zur Anfrage zusätzliche Datensets zugänglich zu machen, ist vorhanden.					X
7.3.13. Crowd-sourced-Daten werden regelmäßig gesammelt und veröffentlicht. Dies beinhaltet die Praktik benötigte Services, Ideen oder Inhalt durch Werben um große Gruppen, z. B. die Online-Community anstelle von traditionellen Mitarbeitern oder Lieferanten, zu gewinnen.					X
7.3.14. Ende-zu-Ende-Datenfluss: Abhängig von den Sicherheits-, Privatsphäre- und Performanzanforderungen existiert ein Ende-zu-Ende-Datenfluss von der Datenerzeugung beim Unternehmen bis zum Kunden.				X	
Umsetzungsgrade	-	B	B	F	E

Tabelle 114: Data Sharing (DPMM finale Version)

7.4. Security and Privacy	R1	R2	R3	R4	R5
7.4.1. Die Sicherheitsstrategie und -taktiken werden kontinuierlich weiterentwickelt auf Basis von Veränderungen in der operativen Umgebung und Lessons Learned.				X	
7.4.2. Organisationsübergreifend: Sicherheits-, Resilienz- und Interoperabilitätsanforderungen erkennen Abhängigkeiten jenseits der Organisationsgrenzen.				X	
7.4.3. Austausch mit Partnern: Prozesse und IT-Lösungen des Sicherheitsmanagements und -Monitoring werden eingesetzt, um die Interaktionen/Datenaustausch mit einem erweiterten Portfolio an Partnern der Wertschöpfungskette zu beschützen.				X	
7.4.4. Kundendaten im Unternehmen: Das Unternehmen ist fähig Sicherheit und Privatsphäre für alle gespeicherten, übertragenen oder verarbeiteten Kundendaten sicherzustellen (z. B. durch 3rd-party-Zertifizierungen, Zertifikate von Programmiertrainings in Secure Coding, 3rd-party-Reviews von Sicherheit- and Privacy-Policies, Code Reviews).		X			
7.4.5. Kundenprodukte und Services (Standards): Die Kundenprodukte und Dienstleistungen besitzen eingebaute Sicherheits- und Privatsphäresteuerungsmöglichkeiten, die den Industrie- und Regierungsstandards entsprechen.		X			
7.4.6. Allgemeine Produkt-Sicherheits-Anforderungen: Überlegungen und Anforderungen bzgl. der (Informations-)Sicherheit (inklusive Incident Response und Vulnerability Reporting Capabilities) werden von Anfang an in allen Vorhaben des digitalisierten Produkts berücksichtigt. Vorhaben stellen dabei nicht nur Deployments, sondern auch Pläne, Vorschläge, Ausbildung, Beschaffung, etc. dar.	X				
7.4.7. Zwei-Wege-Kommunikation (Home Area Networks): Das Unternehmen bietet sichere zwei-Wege-Kommunikation mit den Heimnetzen an.		X			
7.4.8. Unbeteiligte Personen: Sicherheits- und Privatsphärekonzepte berücksichtigen auch den Schutz unbeteiligter Personen, deren Daten, z. B. durch die physische Nähe zu Sensoren oder Kameras, erfasst werden.		X			
7.4.9. Datensensibilität: Die Sicherheits- und Privatsphärekonzepte berücksichtigen die unterschiedliche Sensibilität der Daten.	X				
7.4.10. Erweiterte Sicherheits- und Privatsphärefragestellungen, wie z. B. digitales Vergessen oder ethische Fragestellungen, sind berücksichtigt und geklärt.	X				
7.4.11. Ressourcen und Verantwortlichkeiten: Notwendige personelle Ressourcen zur Sicherstellung der Maßnahmen stehen zur Verfügung und entsprechende Verantwortlichkeiten sind geklärt.	X				
7.4.12. Vorbeugende oder reagierende Konzepte: Es ist geklärt, inwieweit vorbeugende oder reagierende Sicherheits- und Privatsphärekonzepte zum Einsatz kommen.	X				
Umsetzungsgrade	B	F	F	E	E

Tabelle 115: Security and Privacy (DPMM finale Version)