

Martin Rabe

***Systematik zur Konzipierung
von Smart Services für
mechatronische Systeme***

***Approach for Designing
Smart Services for
Mechatronic Systems***

Geleitwort

Advanced Systems Engineering – neue Methoden und Werkzeuge für die Wertschöpfung von Morgen – ist die verbindende Leitidee unserer Forschungsarbeiten. In der gleichnamigen Fachgruppe am Heinz Nixdorf Institut der Universität Paderborn sowie am Fraunhofer-Instituts für Entwurfstechnik Mechatronik IEM arbeiten wir an dieser Leitidee. Unser generelles Ziel ist die Steigerung der Innovationskraft von Industrieunternehmen. Zentrale Schwerpunkte der Forschung an den beiden Instituten sind die Strategische Planung und das Systems Engineering.

Im Zeitalter der Digitalisierung wandeln sich viele Produkte zu intelligenten und vernetzten Produkten, die gleichermaßen in der physischen und der digitalen Welt interagieren. Dies eröffnet für produzierende Unternehmen völlig neue Geschäftspotentiale, beispielsweise durch datenbasierte Dienstleistungen, welche als Smart Services bezeichnet werden. Aus diesem Grund forcieren viele Unternehmen eine Transformation von einem reinen Produzenten hin zu einem produzierenden Dienstleister. Diese Transformation stellt die Unternehmen vor die Herausforderung, dass physische Produkte und digitale, datenbasierte Dienstleistungen integrativ entwickelt und aufeinander abgestimmt werden müssen. In produzierenden Unternehmen sind Entwicklungsabteilungen in der Regel auf physische Produkte ausgerichtet und benötigen neue Denkweisen, Methoden und Werkzeuge, um die Marktleistungen von morgen zu entwickeln.

Vor diesem Hintergrund hat Herr Rabe eine Systematik zur Konzipierung von Smart Services entwickelt. Sie versetzt Unternehmen in die Lage, Smart Services für ein bestehendes, mechatronisches System zu konzipieren. Basis bildet eine Referenzarchitektur, welche den Entwicklungsgegenstand definiert und mit geeigneten Darstellungstechniken beschreibt. Eine Sammlung von Referenzbausteinen zeigt die Möglichkeiten von Smart Services und dient Systemarchitekten zur Orientierung. Ein Vorgehensmodell sowie geeignete Hilfsmittel zur Umsetzung unterstützen beim Einsatz der Systematik. Die Systematik wurde in einem ausgewählten Industriebeispiel anhand einer Spülmaschine für den gewerblichen Gebrauch validiert.

Herr Rabes Beitrag zur Konzipierung von Marktleistungen im Zeitalter der Digitalisierung ist sehr wertvoll. Gerade die wissenschaftliche Auseinandersetzung im Kontext der Referenzbausteine für smarte Services legt das Fundament für weitere Forschungsarbeiten. Ebenso ist aber auch die nachgewiesene Praxisrelevanz ein Gütesiegel seiner Arbeit, die daher sowohl in der Wissenschaft als auch in der industriellen Praxis hohe Anerkennung finden wird.

Bei der Begeisterung, die Herr Rabe gezeigt hat, bin ich mir sehr sicher, dass er dem Themenfeld auch in seiner weiteren Karriere treu bleiben wird. Dabei wünsche ich ihm viel Erfolg und Spaß bei der Umsetzung der Smarten Service Welt von morgen.

Systematik zur Konzipierung von Smart Services für mechatronische Systeme

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

genehmigte
DISSERTATION

von
M.Sc. Martin Rabe
aus Bielefeld

Tag des Kolloquiums: 18. Dezember 2019
Referent: Prof. Dr.-Ing. Jürgen Gausemeier
Korreferent: Prof. Dr.-Ing. Roman Dumitrescu

Vorwort

Die vorliegende Dissertation entstand während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Fraunhofer-Institut für Entwurfstechnik Mechatronik IEM im Forschungsbereich Produktentstehung. Sie ist das Ergebnis meiner wissenschaftlichen Arbeit im Rahmen von Forschungs- und Industrieprojekten.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Professor Dr.-Ing. Jürgen Gausemeier für das entgegengebrachte Vertrauen und die stets fordernde und fördernde Zusammenarbeit. Sie und das von Ihnen geschaffene Umfeld haben meine fachliche und persönliche Entwicklung in den letzten Jahren maßgeblich geprägt. Für die Übernahme des Korreferats danke ich Herrn Professor Dr.-Ing. Udo Lindemann, dem ehemaligen Leiter des Lehrstuhls für Produktentwicklung an der Technischen Universität München.

Mein herzlicher Dank gilt zudem Herrn Professor Dr.-Ing. Roman Dumitrescu, als Korreferent, Vorgesetzter und Mentor. Vielen Dank für die vertrauensvolle und inspirierende Zusammenarbeit sowie die intensive Förderung. Du hast mir die Unterstützung und die Freiräume gegeben, mich in den letzten Jahren fachlich und persönlich in großen Schritten weiterzuentwickeln!

Danke an alle aktiven und ehemaligen Kolleginnen und Kollegen des Fraunhofer IEM und des Heinz Nixdorf Instituts für die hervorragende und kollegiale Zusammenarbeit. Hervorheben möchte ich Dr.-Ing. Arno Kühn; vielen Dank für die Unterstützung als Abteilungsleiter und Freund. Ein weiterer, großer Dank geht an Dr.-Ing. Alexander Albers für die fortwährende Motivation als langjähriger Bürokollege und guter Freund. Für das fachliche Sparring möchte ich mich bei Dr.-Ing. Marcel Schneider, Dr.-Ing. Christian Dülme, Maximilian Frank und Christian Koldewey bedanken. Besonders hervorheben möchte ich an dieser Stelle Dr.-Ing. Tobias Mittag. Ich bin sehr froh, dich seit über 15 Jahren als großartigen Freund, Kollegen und Weggefährten an meiner Seite zu haben!

Besonderer Dank gilt auch an die vielen Studierenden, die mich als studentische Hilfskräfte oder durch studentische Abschlussarbeiten unterstützt und begleitet haben. Stellvertretend möchte ich hierfür Robin Kroll und Fabian Machon danken. Vielen Dank auch an Sabine Illigen und Alexandra Dutschke, die immer eine große Unterstützung sind.

Meinen Freunden danke ich für das Verständnis und die vielen unvergesslichen Momente als Ablenkung und Motivation in den Tälern der Promotionszeit. Mein allergrößter Dank gebührt meiner Familie! In erster Linie sind dies meine Eltern Ursula und Klaus-Dieter Rabe: Ich danke euch von ganzem Herzen, dass ihr mir meine Ausbildung ermöglicht habt, mich fortwährend unterstützt und mir grenzenlos Rückhalt gebt! Zuletzt möchte ich meiner Freundin Hanna danken, für deinen immerwährenden Einsatz und deine Unterstützung. Vielen Dank, dass du mich immer wieder an die wirklich wichtigen Dinge im Leben erinnerst!

Liste der veröffentlichten Teilergebnisse

- [FRK+19] FRANK, M.; RABE, M.; KOLDEWEY, C.; DUMITRESCU, R.; GAUSEMEIER, J.; HENNIG-CARDINAL VON WIDDERN, N.; REINHOLD, J.: Classification-based Planning of Smart Service Portfolios. In: International Society for Professional Innovation Management (ISPIM) (Hrsg.): Proceedings of the ISPIM Connects Conference, 7-9 April 2019, Ottawa, 2019
- [FKR+18] FRANK, M.; KOLDEWEY, C.; RABE, M.; DUMITRESCU, R.; GAUSEMEIER, J.; KÜHN, A.: Smart Services – Konzept einer neuen Marktleistung. ZWF Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, Vol. 113, Iss. 5, 2018
- [MRG+18] MITTAG, T.; RABE, M.; GRADERT, T.; KÜHN, A.; DUMITRESCU, R.: Building blocks for planning and implementation of smart services based on existing products. In: Sakao, T.; Lindahl, M.; Liu, Y.; Dalhammar, C. (Hrsg.): Proceedings of 10th CIRP Conference on Industrial Product-Service Systems, 29-31 May 2018, Linköping, 2018
- [NAR+18] NIEWÖHNER, N.; ALBERS, A.; RABE, M.; DUMITRESCU, R.: Morphological business model analysis to derive the dominant industry logic. In: International Society for Professional Innovation Management (ISPIM) (Hrsg.): Proceedings of the ISPIM Innovation Forum, 25-28 March 2018, Boston, 2018
- [RAK+18] RABE, M.; ASMAR, L.; KÜHN, A.; DUMITRESCU, R.: Planning of Smart Services based on a Reference Architecture. In: Marjanović, D.; Štorga, M.; Škec, S.; Bojčetić, N.; Pavković, N. (Hrsg.): Proceedings of the 15th International Design Conference, 21.-24. May 2018, Dubrovnik, 2018
- [RKD+18] RABE, M.; KÜHN, A.; DUMITRESCU, R.; MITTAG, T.; SCHNEIDER, M.; GAUSEMEIER, J.: Impact of smart services to current value networks. Journal of Mechanical Engineering, Vol. 5, Iss. SI 4, 2018
- [EHR+17] ECHTERHOFF, B.; HAGELSKAMP, T.; RABE, M.; GAUSEMEIER, J.: Developing functionally validated business concepts. In: International Society for Professional Innovation Management (ISPIM) (Hrsg.): Proceedings of the ISPIM Innovation Conference 2017, 18-21 June 2017, Wien, ISPIM Innovation Forum, 2017
- [EKR+17] ECHTERHOFF, B.; KELLERMEIER, E.; RABE, M.; DUMITRESCU, R.: Integrative Entwicklung und Erprobung von Geschäftsmodellkonzepten. In: Gausemeier, J. (Hrsg.): Vorausschau und Technologieplanung. 13. Symposium für Vorausschau und Technologieplanung, 23.-24. November 2017, Berlin. HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 374, Paderborn, 2017
- [MSG+17] MITTAG, T.; SCHNEIDER, M.; GAUSEMEIER, J.; RABE, M.; KÜHN, A.; DUMITRESCU, R.: Auswirkungen von Smart Services auf bestehende Wertschöpfungssysteme. In: Bodden, E.; Dressler, F.; Dumitrescu, R.; Gausemeier, J.; Meyer auf der Heide, F.; Scheytt, C.; Trächtler, A. (Hrsg.): Wissenschaftsforum Intelligente Technische Systeme (WInTeSys), 11.-12. Mai 2017, Paderborn. HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 369, Paderborn, 2017

Zusammenfassung

Viele Unternehmen des produzierenden Gewerbes stehen derzeit vor der Herausforderung sich wandelnder Marktleistungen und entwickeln sich vom Produzenten zum produzierenden Dienstleister. Die Digitalisierung beschleunigt diesen Vorgang durch neue Möglichkeiten für das Angebot von Dienstleistungen. Smart Services sind Produkt-Service Systeme und kombinieren physische Produkte mit digitalen Dienstleistungen, welche auf den Daten des Produkts basieren. Beispiele sind vorausschauende Wartung und automatisierte Nachbestellung von Verbrauchsmitteln. Unternehmen stehen vor der Frage, wie sie ihr bestehendes Produkt mit Smart Services kombinieren können und neue Marktleistungen schaffen.

Vor diesem Hintergrund ist das Ziel der vorliegenden Arbeit eine Systematik zur Konzipierung von Smart Services für mechatronische Systeme. Zentrum der Arbeit ist eine Referenzarchitektur, welche den Begriff Smart Service als Entwicklungsgegenstand greifbar macht. Es werden Aspekte und Beschreibungstechniken vorgeschlagen, mit denen Konzepte disziplinübergreifend und klar verständlich beschrieben werden. Eine Sammlung von Referenzbausteinen zeigt mögliche Lösungen und dient zur Inspiration und Orientierung. Die Bausteine können miteinander kombiniert und zu individuellen Konzepten ausgeprägt werden. Ein Vorgehensmodell zeigt den Weg von einem mechatronischen System zu Erfolg versprechenden Smart Service-Konzepten. Ein Anwendungsfall aus der Praxis demonstriert das Vorgehen.

Summary

Many manufacturing companies are currently facing the challenge of changing market offerings and shifting from manufacturers to service providers. Digitalization is accelerating this process with new opportunities for service offerings. Smart services are product-service systems and combine physical products with digital services that are based on the data of the product. Examples are predictive maintenance and automated re-ordering of consumables. Companies are challenged by the question of how to combine their existing products with smart services and how to create new market offerings.

In light of these challenges, the objective of this thesis is an approach for designing Smart Services for mechatronic systems. Core of the thesis is a reference architecture, which enables a clear understanding of the term Smart Services as an engineering object. Aspects and description techniques are proposed in order to describe concepts in an interdisciplinary and clearly understandable way. A set of reference building blocks shows possible solutions and serves as inspiration and orientation. The building blocks can be combined with each other and shaped into individual concepts. A procedure model shows the way from a mechatronic system to promising Smart Service concepts. A practical case demonstrates the approach.

Inhaltsverzeichnis	Seite
1 Einleitung.....	5
1.1 Problematik.....	5
1.2 Zielsetzung.....	8
1.3 Vorgehensweise	9
2 Problemanalyse	11
2.1 Begriffsabgrenzungen	11
2.1.1 Systematik zur Konzipierung.....	11
2.1.2 Marktleistungsbegriffe	12
2.1.3 Smart Services.....	15
2.2 Weiterentwicklung technischer Systeme.....	16
2.2.1 Mechatronische Systeme.....	16
2.2.2 Intelligente technische und cyber-physische Systeme.....	19
2.2.3 Datenanalyse im Internet der Dinge.....	21
2.3 Evolution der Marktleistungen im produzierenden Gewerbe.....	24
2.3.1 Vom Produkt- zum Serviceanbieter	24
2.3.2 Angebot von Produkten als Service	27
2.3.3 Marktleistungen auf digitalen Plattformen	31
2.4 Smart Services – Konzept einer neuen Marktleistung	34
2.4.1 Grundidee	34
2.4.2 Veränderung von Geschäftsmodellen und Wettbewerb	37
2.4.3 Architektur der Wertschöpfung auf Plattformen	40
2.5 Interdisziplinäre Entwicklung von Marktleistungen.....	43
2.5.1 Produktentstehungsprozess nach GAUSEMEIER	43
2.5.2 Systems Engineering für mechatronische Systeme.....	45
2.5.3 Entwicklung von Produkt-Service Systemen.....	48
2.6 Problemabgrenzung.....	50
2.7 Anforderungen	53
3 Stand der Technik	55
3.1 Referenzarchitekturen für Technologiekonzepte.....	55
3.1.1 Technology Stack nach PORTER/HEPPELMANN	55
3.1.2 IoT-Wertschöpfungsstufen nach FLEISCH et al.	57
3.1.3 Schichtenmodell für Data Analytics nach KÜHN et al.....	58
3.1.4 Smart Service-Architektur nach BEVERUNGEN et al.	60

3.1.5	Smart Service-Architektur nach BULLINGER et al.	61
3.2	Lösungswissen für Smart Services	62
3.2.1	Baukasten für Industrie 4.0 nach ANDERL/FLEISCHER	62
3.2.2	Leistungsstufen von CPS nach WESTERMANN	63
3.2.3	Ertragsmodelle im Internet der Dinge nach WORTMANN et al. .	64
3.2.4	IoT-Stack nach ALLMENDIGER/HARBOR RESEARCH	65
3.3	Darstellung und Strukturierung von Lösungswissen	67
3.3.1	Ordnungsschemata in der Konstruktionslehre	67
3.3.2	Verträglichkeitsanalyse nach KÖCKERLING	68
3.3.3	Komplexitätsmanagement nach LINDEMANN/MAURER	69
3.4	Vorgehen zur Konzipierung von Produkt-Service-Systemen	71
3.4.1	Planung und Konzipierung von Marktleistungen nach STOLL..	71
3.4.2	HLB Entwicklungsprozess nach STARK/MÜLLER	73
3.4.3	Entwicklung von Smart Services nach BULLINGER et al.	75
3.4.4	Aachener Smart-Service-Engineering-Zyklus	77
3.4.5	Wissensorientierte Entwicklung von PSS nach SCHENKL	78
3.5	Modellbasierte Darstellung von Marktleistungen.....	80
3.5.1	HLB-Layer-Methode nach MÜLLER/STARK	80
3.5.2	Service Blueprinting nach SHOSTACK und EVERSHEIM et al.....	81
3.5.3	Objektorientierte Geschäftsprozessmodellierung (OMEGA) ...	83
3.5.4	Aspektdiagramme der Spezifikationstechnik CONSENS	84
3.5.5	Smart Service Canvas nach PÖPPELBUß/DURST	86
3.6	Bewertung und Handlungsbedarf.....	88
4	Systematik zur Konzipierung von Smart Services für mechatronische Systeme.....	93
4.1	Grundidee und Überblick über die Systematik	93
4.2	Referenzarchitektur.....	95
4.2.1	Anwendungsszenario.....	96
4.2.2	Erlös-konzept	98
4.2.3	Serviceprozess	100
4.2.4	Wirkstruktur.....	103
4.2.5	Datenanalyse	106
4.2.6	Aspektübergreifende Verknüpfungen.....	108
4.3	Referenzbausteine.....	111
4.3.1	Anwendungsszenarien.....	113
4.3.2	Erlös-konzepte	115
4.3.3	Wirkstrukturelemente	116
4.3.4	Datenanalyse	120
4.4	Werkzeuge.....	122
4.4.1	Verträglichkeitsmatrix.....	122

4.4.2	Datenlandkarte.....	124
4.5	Vorgehensmodell	126
4.5.1	Phase 1: Ideenfindung	126
4.5.2	Phase 2: Marktleistungsanalyse	128
4.5.3	Phase 3: Marktleistungssynthese	130
5	Anwendung und Bewertung.....	132
5.1	Anwendungsbeispiel	132
5.2	Phase 1: Ideenfindung	133
5.3	Phase 2: Marktleistungsanalyse	135
5.4	Phase 3: Marktleistungssynthese	138
5.5	Bewertung anhand der gestellten Anforderungen.....	143
6	Zusammenfassung und Ausblick.....	147
7	Abkürzungsverzeichnis.....	151
8	Literaturverzeichnis	153

Anhang

A1	Referenzbausteine für Smart Services	A-3
A1.1	Anwendungsszenarien.....	A-4
A1.2	Erlöskonzepte	A-20
A1.3	Produktstruktur.....	A-32
A1.4	Datenanalyse	A-35
A2	Verträglichkeitsmatrix	A-38
A2.1	Vertikale Sicht	A-38
A2.2	Horizontale Sicht.....	A-39

1 Einleitung

*“People don’t want to buy a quarter-inch drill.
They want to buy a quarter-inch hole!”
Theodore Levitt [CCH05, S. 2]*

Die vorliegende Arbeit adressiert Smart Services als ein Marktleistungskonzept, welches die Grenze zwischen Produkt und Dienstleistung verschwimmen lässt. Im Fokus steht die Problemlösung für einen Kunden durch eine Bündelung von physischen Produkten mit digitalen Dienstleistungen. Gegenstand der Arbeit ist eine *Systematik zur Konzipierung von Smart Services für mechatronische Systeme*, welche Unternehmen bei der Erschließung der Potentiale von Smart Services unterstützt.

Die Ergebnisse der Arbeit resultieren aus Forschungs- und Industrieprojekten, die durch das Fraunhofer-Institut für Entwurfstechnik Mechatronik IEM durchgeführt worden sind. Stellvertretend seien an dieser Stelle zwei Projekte genannt: Das Verbundprojekt Systems Engineering ist Teil der Technologieplattform des BMBF-Spitzenclusters Intelligente Technische Systeme OstWestfalenLippe (it’s OWL) und hatte als Ziel ein Instrumentarium zur Planung und Entwicklung von intelligenten Produkten, Produktionssystemen und Dienstleistungen. Das Projekt EngaGe ist ein Transferprojekt im Rahmen von it’s OWL und hatte als Ziel ein Geschäftsmodell und Smart Service-Konzepte für gewerbliche Geschirrspülsysteme.

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

1.1 Problematik

Smart Services ermöglichen **Unternehmen mit mechatronischen Systemen als Produkte** die Potentiale aus zwei Entwicklungen synergetisch zu erschließen: Zum einen ermöglicht die Evolution der Marktleistung von Produkt- zu Serviceleistungen das Erschließen neuer Umsatzpotentiale. Zum anderen ermöglichen neue Technologiekonzepte die Weiterentwicklung der Fähigkeiten technischer Systeme. Smart Services nutzen die Fähigkeiten, um physische Produkte mit digitalen Dienstleistungen zu bündeln. Dieser Zusammenhang wird im Bild 1-1 dargestellt und im Folgenden erläutert.

Der Begriff **Servitization** beschreibt die Evolution der Marktleistungen und damit der Unternehmen im produzierenden Gewerbe: Produzenten wandeln sich zum produzierenden Dienstleister [GJS16, S. 753]. Der Trend ist nicht neu [VR88], aber vor dem Hintergrund der Digitalisierung hochaktuell [SJF18, S. 3]. Digitalisierung und Servitization werden als Megatrends bezeichnet, welche Einfluss auf Geschäftsmodelle, Marktleistungen und Wertschöpfungssysteme nehmen [LMZ17, S. 5]. Unternehmen stehen vielfach vor ähnlichen Problemen, welche sich aus einer Kausalkette ergeben: Produkte der Wettbewerber gleichen sich immer weiter an, Kunden orientieren sich zunehmend am Preis und Margen

sinken [GFH06, S. 46], [LG14, S. 253]. Eine Gegenstrategie ist die Differenzierung durch produktbegleitende Dienstleistungen und deren Bündelung mit dem Produkt zu Gesamtlösungen [BLB+09, S. 558], [EDG17, S. 72ff]. Kombiniert mit einer Veränderung des Erlösmodells entstehen sog. Product-as-a-Service-Modelle: Kunden zahlen die Nutzung der Produkte statt den Eigentumsübergang [SSS+16], [LM12]. An Stelle eines einmaligen Kaufpreises, werden regelmäßige Zahlungen geleistet, welche sich z.B. nach der Intensität und Zeit der Nutzung richten. Auf digitalen Plattformen können Produkte und Dienstleistungen unterschiedlicher Partner flexibel zu kundenindividuellen Gesamtlösungen kombiniert werden [GWE+17, S. 38], [BH15, S. 17].

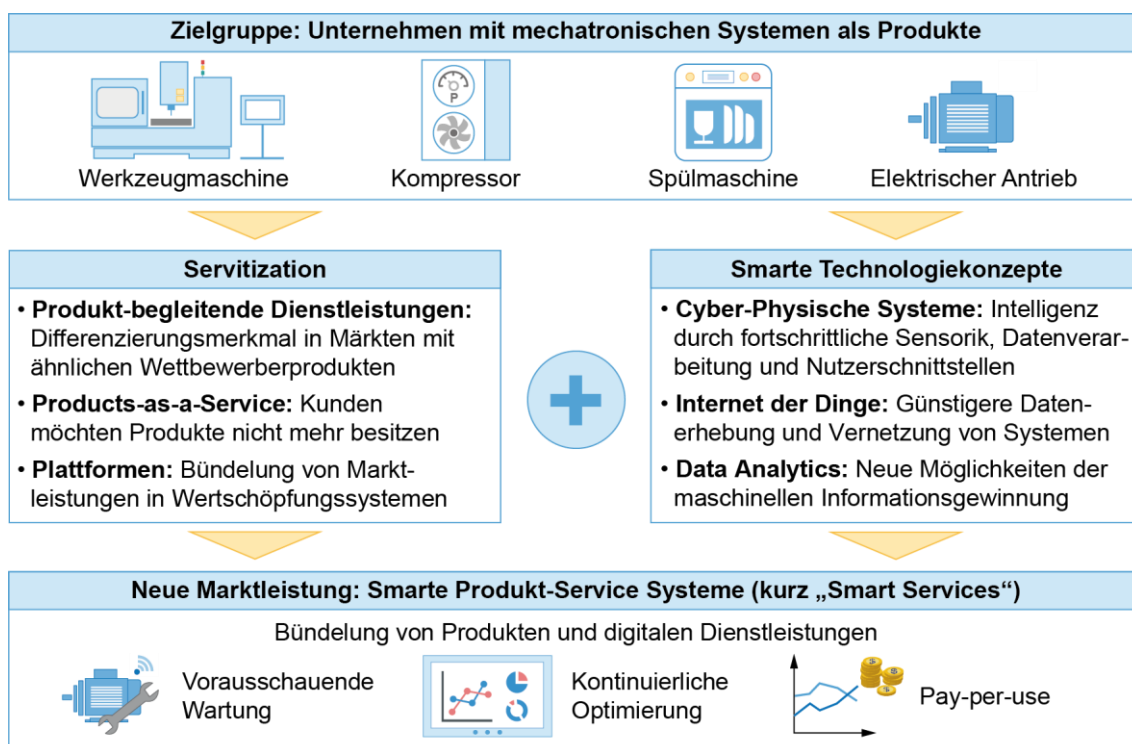


Bild 1-1: Unternehmen können mit Smart Services die Potentiale der Evolution der Marktleistung und neuer Technologiekonzepte synergetisch erschließen

Synergetische Potentiale ergeben sich durch **smarte Technologiekonzepte**, welche unterschiedliche Technologien bündeln und weitreichende Funktionserweiterungen für mechatronische Systeme ermöglichen. Es werden intelligente, vernetzte Produkte möglich, die den Wettbewerb und ganze Branchenstrukturen verändern können [PH14]. Cyber-Physische Systeme nutzen fortschrittliche Sensorik, Informations- und Kommunikationstechnik sowie multimodale Mensch-Maschine-Schnittstellen [GB12, S. 22], [Wes17, S. 13]. Das Konzept Internet der Dinge wird durch einen Preisverfall bei Sensorik, Datenübertragung und Rechenleistung ermöglicht, wodurch auch kostengünstige Produkte vernetzt und deren Daten gesammelt werden können [FM08, S. 272], [JCB+14, S. 4]. Die Datenverarbeitung erfolgt durch Analyseverfahren, welche aus Daten vieler, verteilter Systeme wertvolle und völlig neue Informationen erzeugen können, wie z.B. wann ein Bauteil voraussichtlich ausfällt [BIT14, S. 23ff], [Rei16].

Smart Services sind das Konzept einer neuen Marktleistung, welches den Trend der Servitization und smarte Technologiekonzepte verbindet. Es handelt sich um Produkt-Service Systeme bestehend aus einem mechatronischen System und digitalen Dienstleistungen, welche auf Informationen über das Produkt aufbauen. Es steigt die Verfügbarkeit von Informationen über Produkte, um diese z.B. intensiver nutzen zu können [OT15]. Smart Services bündeln diese Informationen und stellen sie in Form einer Dienstleistung bereit [BGN17, S. 99], [KRH+15, S. 3]. Beispielsweise ermöglichen Informationen bezüglich des voraussichtlichen Ausfalls von Bauteilen eine vorausschauende und bedarfsgerechte Wartung. Informationen über optimale Betriebspunkte ermöglichen das Angebot einer kontinuierlichen Optimierung des Outputs. Durch Informationen über die Nutzung kann dem Kunden ein anderes Erlösmodell (z.B. Pay-per-use) statt dem Kauf des Systems angeboten werden. Smart Services werden im Anwendungsbereich der Industrie auch als „*nutzen-orientierte Schwester der Industrie 4.0*“ bezeichnet [Qua15-ol], da aus neuen Technologien nicht lediglich Effizienzverbesserungen, sondern neue Marktleistungen und Geschäftsmodelle entstehen.

Für die Konzipierung von Smart Services ergibt sich als erste Herausforderung die **Definition des Entwicklungsgegenstands**. Es handelt sich um ein übergeordnetes Handlungsfeld zwischen der Konzipierung mechatronischer Systeme und IT-Systemen, sowie von Geschäftsmodellen und Wertschöpfungssystemen [BLM14, S. 75]. Die Konzipierung muss darüber hinaus physische und digitale Aspekte als auch Produkt- und Serviceaspekte abdecken [LMZ17, S. 6]. Letztlich muss die Frage beantwortet werden, wie ein Konzept aussehen muss, um als Basis für die Detailentwicklung zu dienen.

Der **Ansatz des modellbasierten Systems Engineering** zeichnet sich als Erfolg versprechender Ansatz zur Entwicklung komplexer, mechatronischer Systeme ab und beinhaltet Ausdrucksmittel und Problemlösungstechniken für unterschiedliche Entwicklungsphasen [GDE+19, S. 379ff], [DTB17]. Die Vision ist ein Systemmodell als Mittelpunkt der Entwicklung, welches den Entwicklungsgegenstand so abbildet, dass es als Verständigungsmittel und Schnittstelle zwischen beteiligten Disziplinen dient [GDS+14, S. 36], [INC14, S. 38]. Smart Services sollten ebenfalls in Systemmodellen berücksichtigt sowie mit Ausdrucksmitteln und Problemlösungstechniken in Entwicklungsprozesse integriert werden, um dem sich durchsetzenden Trend zum modellbasierten Systems Engineering zu folgen.

Für Smart Services sollten **bestehende Produkte und Daten berücksichtigt werden**, da insbesondere bei produzierenden Unternehmen von einer geeigneten technologischen Basis ausgegangen werden kann [GKD+16, S. 54]. Laut einer Studie¹ setzen 52% der Unternehmen in Deutschland neue Technologiekonzepte ein und die Analyse von Daten wird als wichtigste Technologie bezeichnet; dennoch nutzen nur 21% die Technologien für neue Marktleistungen [Sta18, S. 11ff]. Viele der bereits heute erzeugten Daten werden nicht genutzt und münden in einfachen Überwachungsfunktionen, welche das Potential

¹ Stufen Industrie 4.0 Index 2018, Grundgesamtheit: 450 Unternehmen, Stand Q2/2018 [Sta18].

der Analyse nicht ausschöpfen [MCB+15, S. 25]. Darüber hinaus ist die Produktgenerationsentwicklung in der Praxis verbreitet: Produktentwicklungen basieren auf Referenz- bzw. Vorgängerprodukten und sind selten vollständige Neuentwicklungen [ANW15]. Die Konzipierung von Smart Services sollte eine Analyse des bestehenden Produkts sowie der verfügbaren Datenbasis beinhalten, um eine Implementierung mit wenigen Änderungen zu realisieren und den Wert bereits verfügbarer Daten zu nutzen.

Es bestehen bereits **vielfältige Lösungen für Smart Services in der Praxis**, welche durch Unternehmen und praxisorientierte Forschungsprojekte hervorgebracht werden. Die 2015 veröffentlichte Studie *Smart Service Welt* verdeutlicht die Potentiale von Smart Services für die deutsche Wirtschaft [KRH+15]. Es folgten darauf aufbauende Forschungsförderungsprogramme des BMWi² (Smart Service Welten I und II), welche mit einem Fördervolumen von rund 100 Mio. Euro die Relevanz des Themas zeigen [BMW18-ol]. Erste Zwischenberichte und Wegweiser der Programme skizzieren vielfältige Lösungsmöglichkeiten in unterschiedlichen Bereichen [Aca17], [EEG+18], [EKL+17], [KRW+16]. Es wird jedoch auch deutlich, dass bei der Vielfalt der Lösungen Orientierung und Struktur notwendig ist, um das verfügbare Wissen für Unternehmen und konkrete Anwendungen nutzbar zu machen.

1.2 Zielsetzung

Ziel der vorliegenden Arbeit ist eine Systematik zur Konzipierung von Smart Services für mechatronische Systeme. Die Systematik soll Unternehmen mit mechatronischen Systemen als Produkte befähigen, Konzepte für Smart Services zu erarbeiten, welche als Basis für die Detailentwicklung und Umsetzung dienen. Konkrete Zielgruppe zur Anwendung der Systematik sind Innovations- und Produktmanager sowie Systemarchitekten, welche im Spannungsfeld der strategischen Planung und technischen Entwicklung, Konzepte für Erfolg versprechende Marktleistungen entwickeln wollen.

Die Systematik soll sich aus vier Bestandteilen zusammensetzen. Erster Bestandteil ist eine **Referenzarchitektur für Smart Services**, welche den Entwicklungsgegenstand definiert und die Prinziplösung in geeigneter Weise modellbasiert darstellen kann. **Referenzbausteine** sollen bestehende Lösungen strukturieren und zur Orientierung, Inspiration und Eingrenzung des Lösungsraums dienen. **Hilfsmittel** sollen den Systemarchitekten bei der Systemanalyse und -synthese unterstützen und dabei die Referenzarchitektur und das strukturierte Lösungswissen nutzen. Ein **Vorgehensmodell** soll die durchzuführenden Tätigkeiten der Konzipierung beschreiben und den Einsatz der Bestandteile der Systematik zeigen.

² Bundesministerium für Wirtschaft und Energie

1.3 Vorgehensweise

Kapitel 2 konkretisiert die eingeleitete Problematik durch eine fundierte Problemanalyse. Im ersten Schritt werden die wesentlichen Begriffe eingeführt und abgegrenzt. Es folgt die Analyse der Weiterentwicklung technischer Systeme und der Evolution der Marktleistungen im produzierenden Gewerbe. Das Konzept Smart Services wird in einem eigenen Abschnitt vorgestellt, ausgehend von der Grundidee über Veränderungen von Geschäftsmodellen und Wettbewerb hin zur Architektur der Wertschöpfung. Es folgt eine Einführung in die interdisziplinäre Produktentstehung und das modellbasierte Systems Engineering, in die die vorliegende Arbeit verortet wird. In einer Problemabgrenzung werden Nutzenpotentiale und Herausforderungen innerhalb der Handlungsfelder für die vorliegende Arbeit abgeleitet und in Anforderungen an die Systematik überführt.

Kapitel 3 adressiert den Stand der Technik vor dem Hintergrund der Problemanalyse. Zunächst werden Referenzarchitekturen für unterschiedliche Technologiekonzepte untersucht, welche in den Grundzügen dem Konzept von Smart Services entsprechen. Es folgen Übersichten mit spezifischem Lösungswissen sowie allgemeine Ansätze zur Darstellung und Strukturierung von Lösungswissen. Ergänzend werden Vorgehen zur Konzipierung von Marktleistungen vorgestellt, welche durch Ansätze zur modellbasierten Darstellung von Marktleistungen ergänzt werden. Das Kapitel schließt mit einer Bewertung aller Ansätze anhand der in Kapitel 2 ermittelten Anforderungen.

Kapitel 4 bildet den Kern der vorliegenden Arbeit. Es wird die Systematik zur Konzipierung von Smart Services für mechatronische Systeme vorgestellt. Ausgangspunkt ist die Erläuterung der Grundidee und ein Überblick über den Lösungsansatz und die Bestandteile der Systematik. Es folgt eine detaillierte Erläuterung der einzelnen Bestandteile. Zunächst wird die Referenzarchitektur für Smart Services erläutert. Diese ist die Grundlage für Referenzbausteine, welche Lösungen für die Aspekte der Architektur vorschlagen. Es folgen zwei Hilfsmittel: Eine Verträglichkeitsmatrix bewertet die Referenzbausteine untereinander und eine Datenlandkarte unterstützt bei der Potentialanalyse bestehender Systeme. Den Abschluss bildet das Vorgehensmodell, das die Tätigkeiten zur Anwendung der Systematik erläutert.

Kapitel 5 demonstriert die Anwendung der Systematik. Anhand des Beispiels einer Spülmaschine für den gewerblichen Gebrauch wird das Vorgehen durchlaufen und die Anwendung der Bestandteile der Systematik gezeigt. Mit der Anwendung erfolgt eine Validierung, ob das Rahmenwerk den geforderten Anforderungen entspricht. Darüber hinaus eignet sich das Anwendungsbeispiel um Nutzen und Praxisrelevanz der Systematik zu veranschaulichen.

Kapitel 6 fasst die Inhalte der Arbeit zusammen und gibt einen Ausblick auf zukünftigen Forschungsbedarf im Themenfeld Smart Services. Der Anhang umfasst Referenzbausteine für Smart Services in Form von 27 Steckbriefen sowie die gesamte Verträglichkeitsmatrix in zwei unterschiedlichen Sichten (horizontal und vertikal).

2 Problemanalyse

Die Problemanalyse zeigt Nutzenpotentiale und Herausforderungen innerhalb der zugrundeliegenden Handlungsfelder für die vorliegende Arbeit auf, um darauf aufbauend Anforderungen an eine Lösung abzuleiten. Abschnitt 2.1 erklärt wesentliche Begriffe der vorliegenden Arbeit. Es folgt die Analyse von vier Bereichen: Weiterentwicklung technischer Systeme (Abschnitt 2.2), Evolution der Marktleistung im produzierenden Gewerbe (Abschnitt 2.3), Smart Services als neues Marktleistungskonzept (Abschnitt 2.4) und die interdisziplinäre Entwicklung von Marktleistungen (Abschnitt 2.5).

2.1 Begriffsabgrenzungen

In den folgenden Abschnitten erfolgt die Abgrenzung der wesentlichen Begriffe für die vorliegende Arbeit. Die Basis hierfür bildet bestehende Literatur. Ziel ist ein Grundverständnis der Begriffe und keine vollständige Diskussion der Literatur. Abschnitt 2.1.1 gibt Aufschluss über die Bestandteile und damit die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit. Abschnitt 2.1.2 grenzt Begriffe im Kontext von Marktleistungen ab. Abschnitt 2.1.3 beinhaltet die Definition des Begriffs Smart Service für die vorliegende Arbeit.

2.1.1 Systematik zur Konzipierung

Gegenstand der vorliegenden Arbeit ist eine **Systematik** zur Konzipierung von Smart Services für mechatronische Systeme. Nach DUMITRESCU beinhaltet eine Systematik im Bereich Produktentwicklung ein Vorgehensmodell und dedizierte Hilfsmittel, welche zusammen die Entwicklung technischer Systeme ermöglichen [Dum11, S. 6]. Das Vorgehensmodell der vorliegenden Arbeit strukturiert den Prozess der Konzipierung und zentrales Hilfsmittel ist eine Referenzarchitektur zur Definition des Entwicklungsgegenstands. Weitere Hilfsmittel sind Lösungswissen in Form von Referenzbausteinen sowie Methoden zur Systemanalyse. Ziel der Analyse sind Potentiale bestehender technischer Systeme, welche mit Smart Service erschlossen werden können.

EHRENSPIEL beschreibt die Tätigkeit der **Konzipierung** als den Versuch, eine Vorstellung über die prinzipielle Funktionsweise eines Systems zu bekommen. Die Konzipierung wird in Teilaufgaben zerlegt, um für Teilfunktionen nach prinzipiellen Lösungen zu suchen. Das Konzept als Ergebnis ist eine abstrakte Lösung, welche die wichtigsten Anforderungen erfüllt [Ehr09, S. 251]. Nach GAUSEMEIER ist die Konzipierung Bindeglied zwischen strategischer Planung und Produktentwicklung mit den Zielen strategiekonformer Produkt- und Dienstleistungskonzepte [GAD+14, S. 11]. Die Systematik der vorliegenden Arbeit enthält eine Darstellungsform für prinzipielle Lösungen von Smart Services sowie Hilfsmittel zur Lösung von Teilaufgaben. Die Schnittstelle zur strategischen Planung ist das Erlös-konzept als Teil des Geschäftsmodells.

2.1.2 Marktleistungsbegriffe

Smart Services sind ein neues Marktleistungskonzept. Eine *Marktleistung* lässt sich generell in *Produkt* und *Service* bzw. *Sachleistung* und *Dienstleistung* unterscheiden. Durch die zunehmend fließenden Grenzen zwischen Sach- und Dienstleistungen sind Kombinationen entstanden: *Hybride Leistungsbündel* und *Produkt-Service System*. Bild 2-1 zeigt den Zusammenhang der Begriffe in der Übersicht.

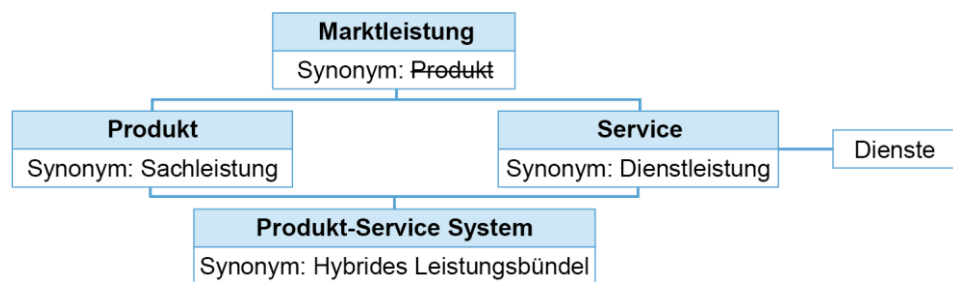


Bild 2-1: Einordnung wesentlicher Begriffe in der vorliegenden Arbeit

Marktleistung

Eine Leistung ist das Ergebnis von Prozessen, umfasst damit Sach- und Dienstleistungen [SGK06, S. 21] und wird auch als Marktleistung bezeichnet [GAD+14, S. 11]. Die Abgrenzung zum Begriff Produkt ist nicht eindeutig, wie die folgenden Definitionen zeigen:

- 1) Produkte sind Sachleistungen, Dienstleistungen als auch Kombinationen aus Sach- und Dienstleistungen [SGK06, S. 21]. Nach KOTLER sind Produkte alles, was auf einem Markt angeboten werden kann und ein Bedürfnis erfüllt [KKO17, S. 460]. Zur Unterscheidung von Sach- und Dienstleistung werden die Begriffe Sachprodukt und Dienstleistungsprodukt genutzt [Sch10, S. 7].
- 2) Produkte sind Sachleistungen und keine Dienstleistungen. Sachleistungen können lediglich durch Dienstleistungen ergänzt werden [GAD+14, S. 11]. Forschungsarbeiten im Themenfeld Produkt-Service Systeme folgen dieser Ansicht: Produkte sind materielle Güter [BLE+07], [Tuk04] und können mit dem Begriff Sachleistung umschrieben werden.

In der vorliegenden Arbeit wird dem zweiten Begriffsverständnis gefolgt und der sprachlich einfachere, gefälligere Begriff Produkt statt Sachleistung genutzt.

Produkt und Sachleistung

Produkte sind materielle Güter, welche ein Kunde kauft und damit das Eigentum erhält. Hierbei kann es sich um Rohstoffe oder gefertigte Vor- und Endprodukte handeln. Produkte können vor dem Kauf angesehen und angefasst werden [SGK06, S. 22]. Produktion und Konsumierung erfolgen zu unterschiedlichen Zeitpunkten und Kunden werden nicht in den Produktionsprozess integriert [Sch15, S. 35]. Aufgrund dessen müssen Produkte gelagert und transportiert werden, lassen sich dadurch aber auch weiterverkaufen [BKP08, S. 12].

Service und Dienstleistung

Definitionen für den Begriff Dienstleistung lassen sich in drei Gruppen aufteilen [SGK06, S. 23], [MB06, S. 29]: Enumerative Definitionen durch Beispiele, Abgrenzung durch Negativdefinition zur Sachleistung und Definition anhand konstitutiver Merkmale. LOVELOCK/GUMMESSON definieren Dienstleistungen über das konstitutive Merkmal „non-ownership“, welchem die vorliegende Arbeit folgt: Dienstleistungen sind Transaktionen, bei denen kein Eigentum gewechselt wird, sondern Nutzungs- und Zugangsrechte für Produkte, Arbeitskräfte, Wissen, Netzwerke und Orte [LG04, S. 34].

Das IHIP-Modell beschreibt vier weitere, konstruierende Merkmale von Dienstleistungen [Arn15, S. 4], [ZPB85, S. 35]: Durch Immaterialität (Intangibility) können Dienstleistungen nicht gesehen oder berührt werden. Heterogenität (Heterogeneity) beschreibt die Schwankung von Qualität und Ergebnis einer Dienstleistung in Abhängigkeit von Anbieter, Kunde und Zeit. Die Untrennbarkeit (Inseparability) von Produktion und Konsumierung wird auch als Uno-actu-Prinzip bezeichnet. Daraus resultiert das Merkmal Vergänglichkeit (Perishability); eine Dienstleistung kann nicht gelagert werden.

Der Begriff Service wird im deutschsprachigen Raum auf Marktleistungen in den Bereichen Montage, Wartung und Reparatur bezogen. Im englischsprachigen Raum existiert nur der Begriff Service [BS06, S. 54]. Im Plural ist der Begriff Dienstleistungen jedoch sprachlich gefälliger. In der vorliegenden Arbeit erfolgt keine Differenzierung und die Begriffe Service und Dienstleistung werden synonym und abwechseln verwendet abhängig vom sprachlichen Kontext.

Dienste

GEISBERGER/BROY bezeichnen Dienste als einen abstrakten Begriff für Funktionen und Dienstleistungen von Systemen und Menschen [GB12, S. 244]. KAGERMANN et al. bezeichnen Dienste als Synonym zu Services [KWH13, S. 85]. Im Bereich der Informatik wird der Begriff für die Bündelung von Funktionen sowie der Bereitstellung eines Programms genutzt. Nach BULLINGER werden Dienste durch Informationssysteme und Dienstleistungen durch Personen erbracht [BGN17, S. 102]. Die vorliegende Arbeit folgt der Definition nach BULLINGER.

Physische und digitale Marktleistungen

Eine Marktleistung kann durch die Beschreibung der Wertschöpfung charakterisiert werden. Die physische Wertschöpfung besteht aus Aktivitäten an Gütern und Materialien (z.B. Herstellung oder Reparatur einer Werkzeugmaschine). Die digitale Wertschöpfung besteht aus Aktivitäten zur Generierung, Speicherung und Verarbeitung von Daten (z. B. Programmierung eines Algorithmus oder Analyse von Daten) [FKR+18, S. 306]. Bild 2-1 zeigt die Charakterisierung von Marktleistungen anhand der Art der Marktleistung (Produkt oder Service) und der dominanten Wertschöpfung (physisch oder digital).

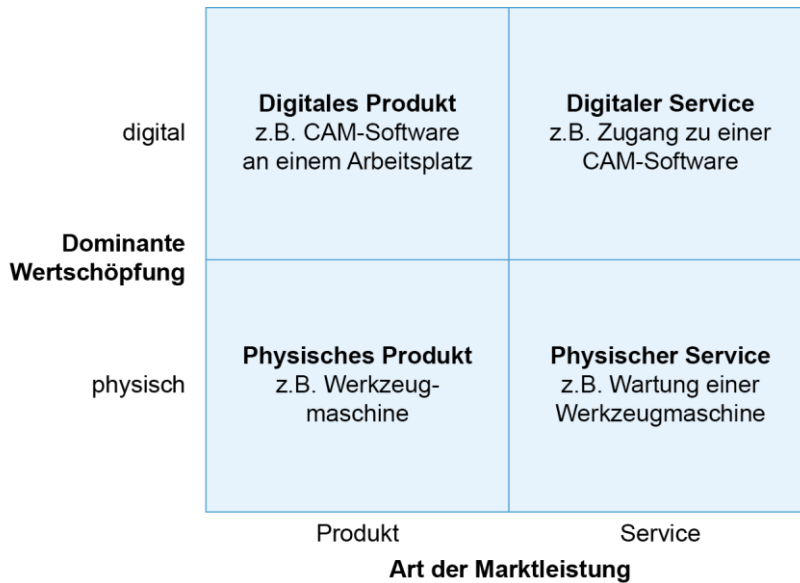


Bild 2-2: *Physische und digitale Marktleistungen [FKR+18, S. 307]*

Digitale Produkte sind Daten in Form von Software sowie Bild-, Video- und Musikdateien, welche über Speichermedien oder das Internet gehandelt werden – der Kunde erhält eine vollständige und dauerhafte Kopie [FKR+18, S. 307]. Digitale Produkte können somit auch softwarebasierte Produktfeature sein. Ein Feature ist ein Produktmerkmal und dient der Erfüllung eines Bündels von Anforderungen [Küh16, S. 13]. Ein bereits am Markt verfügbares Beispiel ist das Feature Autopilot des Fahrzeugherstellers Tesla, welches als digitales Produkt verkauft wird [WBW+17, S. 11].

Digitale Services werden durch IT-Systeme bereitgestellt [BH17, S. 6]. Die Erbringung erfolgt über das Internet, welches eine einfache Interaktion zwischen IT-System und Kunde ermöglicht [WCR08, S. 506]. Eine verbreitete Anwendung ist die Bereitstellung von digitalen Produkten für einen begrenzten Zeitraum, wie z.B. Software-as-a-Service oder Musikstreaming. Hierbei bezahlt der Kunde den Zugang zu einer Software und deren Ausführung auf IT-Systemen des Anbieters.

Hybrides Leistungsbündel und Produkt-Service System

Ein hybrides Leistungsbündel ist eine Marktleistung aus Produkt- und Serviceanteilen, welche integriert geplant, entwickelt und erbracht wird [MU12, S. 6], [SGK06, S. 26f]. Die Marktleistung wird auf eine optimale Erfüllung des Kundennutzens abgestimmt. Erlöspotentiale können dann mit innovativen Geschäftsmodellen ausgeschöpft werden, wie zum Beispiel mit Betreibermodellen [GP14, S. 160].

Der Begriff Produkt-Service System kann synonym verwendet werden und beschreibt ebenfalls integrierte Kombinationen von Produkt und Service [BLE+07, S. 1543]. Für Produkt-Service Systeme (PSS) in B2B Märkten wird der Begriff industrielle Produkt-Service Systeme (IPSS) genutzt [MVF11, S. 1175].

2.1.3 Smart Services

Smart Services sind ein neues Marktleistungskonzept. Der Begriff wurde von ALLMENDINGER/LOMBREGLIA geprägt und beschreibt einen Service, der auf vernetzten Produkten und deren Daten basiert. Viele Produkte besitzen bereits Sensoren und Steuerungen, welche Daten bezüglich des eigenen Zustands erzeugen. Durch die Verarbeitung der Daten kann z.B. der Verschleiß von Bauteilen berechnet und ein automatischer Austausch vor einem Ausfall angeboten werden [AL05, S. 2].

KAGERMANN et al. schließen sich dieser Definition an und betonen in der Studie Smart Service Welten resultierende Geschäftsmodelle (Product-as-a-Service) sowie die Kombination von Marktleistungen auf digitalen Plattformen [KRH+15, S. 16]. BULLINGER et al. bezeichnen Smart Services als datenbasierte Dienstleistungsangebote und betonen ebenfalls Geschäftsmodellinnovationen durch Bündelung von Marktleistungen auf digitalen Plattformen [BGN17, S. 99], [Bul15-ol]. PALLUCH folgt ebenfalls der Definition und betont die notwendige Vernetzung von Produkten zu einer IT-Infrastruktur und das Verschwimmen der Grenzen zwischen Produkt und Service [Pal17, S. 165].

PORTER/HEPPELMANN beschreiben mit Funktionen von smarten, vernetzten Produkten die Verschiebung der Produktgrenzen [PH14, S. 5]. FLEISCH et al. nutzen die Begriffe Ding-basierte Funktion und IT-basierter Service [FWW15, S. 448]. Weitere Begriffe beschreiben ähnliche Marktleistungskonzepte, wie z.B. Dienstleistung 4.0 [BH17, S. 6] und Produkt-Service Systeme 4.0 [AKH+16].

Es zeigt sich, dass mit dem Begriff Smart Service auch Teile eines Produktes beschrieben werden, wodurch die Grenzen zwischen Produkt und Service verschwimmen und es sich um ein Produkt-Service System handelt. Als Grundlage für die vorliegende Arbeit dient folgende Definition in Verbindung mit Bild 2-3.

„Smart Services vereinen ein physisches Produkt mit digitalen Services zu einem Produkt-Service System. Das Produkt wird durch digitale Services ergänzt und die Services bauen auf den Daten des Produkts auf, wodurch die Services ohne das Produkt nicht erbracht werden können. Physische Services können auf gleiche Weise integriert werden.“

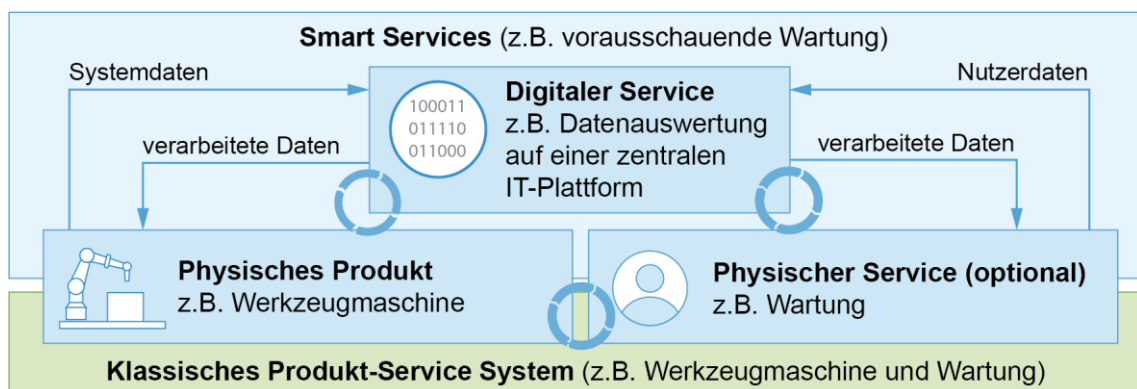


Bild 2-3: Eigene Darstellung der Definition des Begriffs Smart Service

2.2 Weiterentwicklung technischer Systeme

Die Weiterentwicklung technischer Systeme ermöglicht die Realisierung von Smart Services [LG14, S. 250], [LN15, S. 172]. Die folgenden Abschnitte zeigen die Weiterentwicklung anhand von Technologiekonzepten, welche verschiedene Technologien in einer Referenzarchitektur kombinieren. Architekturelementen werden Potentiale für Smart Services zugeordnet und Herausforderungen herausgestellt, welche bei der Konzipierung berücksichtigt werden müssen.

Die Weiterentwicklung wird in drei Abschnitten dargestellt: Mechatronische Systeme (Abschnitt 2.2.1) sind die Basis für die Konzepte Intelligente Technische und Cyber-Physische Systeme (Abschnitt 2.2.2). Die Datenanalyse im Internet der Dinge (IoT) beschreibt die zunehmende Vernetzung technischer Systeme und die daraus folgenden Potentiale der Datenanalyse (Abschnitt 2.2.3).

2.2.1 Mechatronische Systeme

Nahezu jedes aktuell entwickelte technische System mit einer elektrischen Energieversorgung beinhaltet eine Informationsverarbeitung, wodurch Daten erzeugt werden und die Systeme damit um Smart Services erweitert werden können [AL05, S. 2]. Es handelt sich um mechatronische Systeme, welche auf dem ganzheitlichen Zusammenwirken verschiedener Disziplinen basieren und neue Funktionen ermöglichen [Czi08, S. 1], [GTS+14, S. 25], [VDI2206, S. 9]. Der Begriff Mechatronik ist ein Kunstwort und kann wie folgt definiert werden:

„Mechatronik bezeichnet das synergetische Zusammenwirken der Fachdisziplinen Maschinenbau, Elektrotechnik und Informationstechnik beim Entwurf und der Herstellung industrieller Erzeugnisse sowie bei der Prozessgestaltung“ [VDI2206, S. 14].

Eine weitere Charakterisierung des Technologiekonzepts erfolgt durch die *Grundstruktur mechatronischer Systeme* sowie eine *Einteilung in drei Klassen von Systemen*, aus denen sich jeweils Potentiale für Smart Services ergeben.

Grundstruktur mechatronischer Systeme

Die Elemente eines mechatronischen Systems lassen sich in vier Einheiten einteilen: Grundsystem, Sensoren, Aktoren und Informationsverarbeitung. Die Einheiten bilden einen systeminternen Regelkreis, welcher auf Einflüsse von außen reagiert. Einflüsse aus der Systemumgebung können durch drei Schnittstellen in das System gelangen: Sensorik für Einflüsse aus dem lokalen Umfeld, Mensch-Maschine-Schnittstellen für Einflüsse durch Nutzer und Kommunikationssysteme für Einflüsse von der Informationsverarbeitung anderer technischer Systeme [GTS+14, S. 27] [VDI2206, S. 14]. Bild 2-4 zeigt die Grundstruktur eines mechatronischen Systems mit Potentialen für Smart Services, welche im Folgenden detaillierter beschrieben werden.

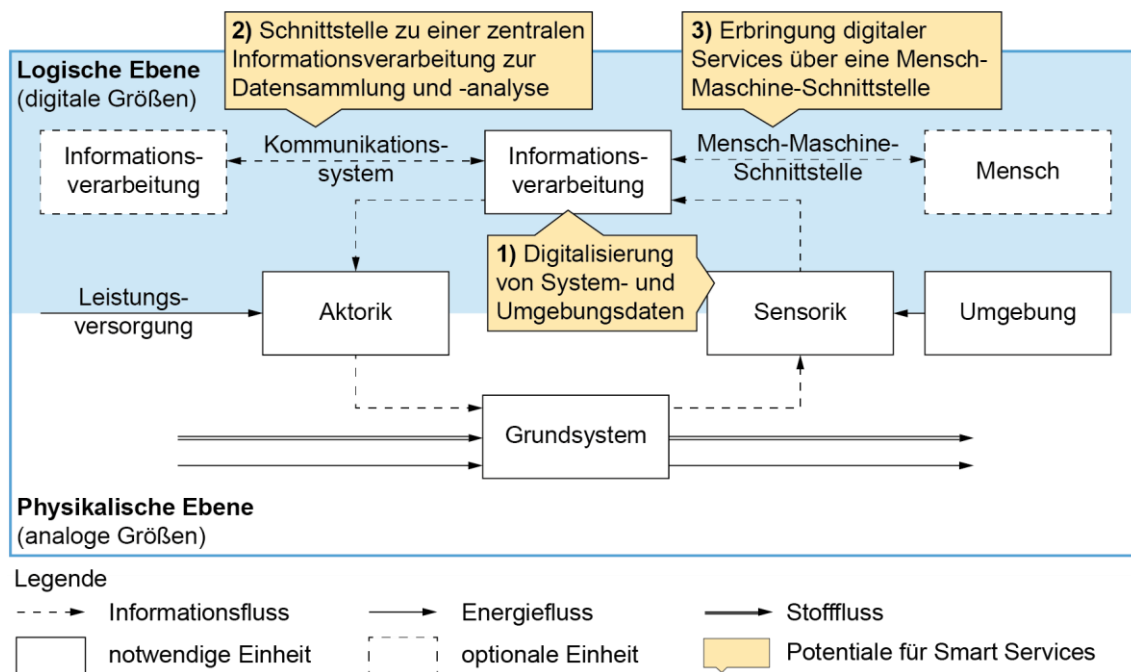


Bild 2-4: Grundstruktur eines mechatronischen Systems [VDI2206, S. 14] mit Potentiale für die Implementierung von Smart Services

1) Digitalisierung von System- und Umgebungsdaten: Die Sensorik erfasst Zustandsgrößen des Grundsystems und der Umgebung als Eingangsgrößen für die Informationsverarbeitung. Die Zustandsgrößen werden dabei durch die Sensorik oder Informationsverarbeitung digitalisiert und können weiterverarbeitet werden [GTS+14, S. 27], [VDI2206, S. 14]. Durch die Datenverarbeitung können Informationen über Zustände des Systems und dessen Umfeld erzeugt werden, um z.B. die daten-basierte Überwachung eines Systems als Service anzubieten [PH14, S. 8].

2) Schnittstelle zu einer zentralen Informationsverarbeitung: Ein Kommunikationssystem kann die Schnittstelle zu einer zentralen Informationsverarbeitung abbilden. Es können Daten vieler Systeme zentral gesammelt werden, da die Kosten für Kommunikationssysteme und kontinuierliche Datenübertragungen sinken [AL05, S. 3]. Durch die Verknüpfung von Daten mehrerer Systeme können wiederkehrende Muster bei Systemzuständen identifiziert werden, um z.B. Systemausfälle im Voraus zu erkennen. Darüber hinaus ermöglicht die Schnittstelle softwarebasierte Funktionen in eine zentrale Informationsverarbeitung auszulagern und als Service anzubieten [PH14, S. 6].

3) Erbringung digitaler Services: Die Mensch-Maschine-Schnittstelle ermöglicht die bidirektionale Kommunikation von System und Nutzer [VDI2206, S. 16]. Die Erbringung digitaler Services ist eine Bereitstellung von Informationen und erfolgt durch eine Mensch-Maschine-Schnittstelle. Darüber hinaus können Nutzerdaten erfasst und mit den System- und Umgebungsdaten verknüpft werden, wodurch neue Informationen entstehen können. Ebenfalls ist eine Interpretation von Daten (z.B. Systemzuständen) durch den Nutzer möglich, wodurch weitere Informationen für Services entstehen.

Klassen mechatronischer Systeme

GAUSEMEIER et al. unterteilen mechatronische Systeme abhängig vom vorrangigen Systemziel in drei Klassen [GTS+14, S. 26]. In der Praxis treten die Klassen oftmals in Kombination auf [Dum11, S. 10]. Bild 2-5 stellt die Klassen und deren Potentiale für Smart Services dar, welche im Folgenden erläutert werden.

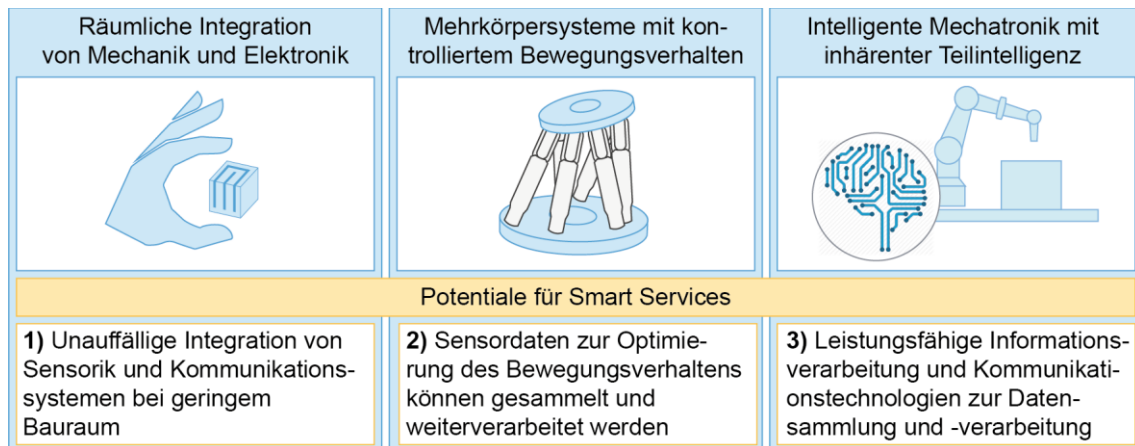


Bild 2-5: Klassen mechatronischer Systeme in Anlehnung an GAUSEMEIER et al. [GTS+14, S. 26] mit Potentialen für Smart Services

1) Räumliche Integration von Mechanik und Elektronik: Ziel der Klasse ist die Miniaturisierung durch eine hohe Integration von mechanischen und elektronischen Funktionsträgern. Hierzu kommen Fertigungstechnologien zur Funktionsintegration zum Einsatz, wie z.B. Molded Interconnect Devices (MID) [GTS+14, S. 26]. Sensorik und Kommunikationssysteme können durch die Miniaturisierung bei geringem Bauraum in ein System integriert werden. Die Funktionsintegration ermöglicht darüber hinaus eine unauffällige Integration von Services ohne das Produktdesign zu verändern.

2) Mehrkörpersysteme mit kontrolliertem Bewegungsverhalten: Ziel der Klasse ist die Verbesserung des Bewegungsverhaltens von technischen Systemen. Die Systeme reagieren eigenständig auf Veränderungen der Umgebung durch die in der Grundstruktur beschriebene Sensor-Aktor-Verknüpfung [GTS+14, S. 26]. Die Veränderungen werden durch Sensordaten erfasst, welche über die Zeit gesammelt und weiterverarbeitet werden können. Es kann eine Datenbasis für umfangreiche Analysen generiert werden, um wiederkehrende Muster im Systemverhalten zu erkennen.

3) Intelligente Mechatronik mit inhärenter Teilintelligenz: Ziel der Klasse ist eine flexible Anpassung des Systemverhaltens an Veränderungen in der Umgebung und Wünsche des Nutzers. Die inhärente Teilintelligenz basiert auf Fortschritten in der Informations- und Kommunikationstechnik [GTS+14, S. 26]. Das Konzept sieht eine leistungsfähige Informationsverarbeitung vor, welche zur Datensammlung und -analyse genutzt werden kann. Fortgeschrittene Kommunikationssysteme ermöglichen die Vernetzung mit zentralen Informationsverarbeitungen, um leistungsfähigere Systeme zur Datenanalyse zu nutzen oder Funktionen auszulagern.

2.2.2 Intelligente technische und cyber-physische Systeme

Die Weiterentwicklung mechatronischer Systeme wird durch die Technologiekonzepte *Intelligente Technische Systeme* und *Cyber-Physische Systeme* beschrieben, welche auf der gleichen Grundstruktur aufbauen. Die Konzepte basieren auf den Fortschritten in der Informations- und Kommunikationstechnik.

Intelligente Technische Systeme (ITS)

Das Technologiekonzept ist Vision und Ziel der Forschungsarbeiten im Spitzencluster it's OWL (Intelligente Technische Systeme OstWestfalen Lippe) [GTD13, S. 50]. Intelligente Technische Systeme werden als fortschrittliche mechatronische Systeme bezeichnet und durch vier Eigenschaften charakterisiert [Dum11, S. 41], [GTD13, S. 49]: Die Systeme sind adaptiv und passen sich in einem vom Entwickler vorgedachten Rahmen dem Umfeld an. Die Systeme sind robust und bewältigen vom Entwickler nicht vorgedachte Situationen. Die Systeme sind vorausschauend und passen ihre Strategie an antizipierte, zukünftige Einflüsse und Gefahren an. Die Systeme sind benutzerfreundlich und passen sich dem Verhalten des Benutzers an.

Der Unterschied zu mechatronischen Systemen ist die Art der Informationsverarbeitung. Mechatronische Systeme besitzen eine starre Kopplung zwischen Sensorik und Aktorik. Das Konzept Intelligente Technische Systeme sieht eine flexible Informationsverarbeitung vor, welche im Betrieb und durch das System selbst modifiziert werden kann [Dum11, S. 27], [GTD13, S. 50]. Bild 2-6 zeigt die Gegenüberstellung der Konzepte.

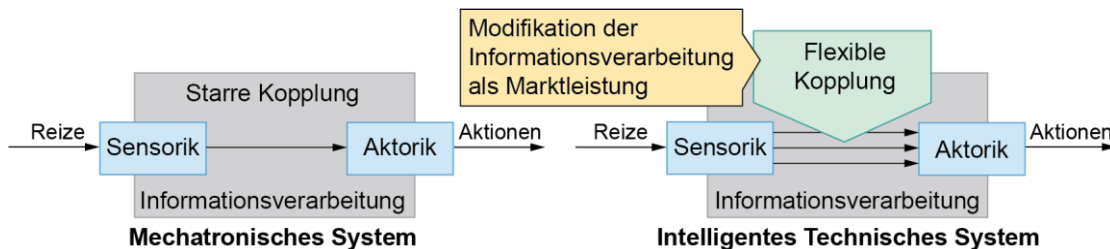


Bild 2-6: Gegenüberstellung der Informationsverarbeitung von mechatronischen und intelligenten technischen Systemen [Dum11, S. 27], [Str98, S. 6]

Die Eigenschaften intelligenter technischer Systeme ermöglichen drei Nutzenpotentiale: Funktionsverbesserungen, horizontale Funktionsintegration (Funktionen anderer Systeme werden übernommen) und vertikale Funktionsintegration (produkt-begleitende Tätigkeiten werden unterstützt, wie z.B. Wartung) [Küh16, S. 20]. Im Zusammenspiel mit dem Konzept einer flexiblen Informationsverarbeitung können Modifikationen im Betrieb als Serviceleistungen angeboten werden. Beispiele sind der nachträgliche Kauf und die kontinuierliche Verbesserung von Fahrerassistenzsystemen in einem PKW. Die Konzipierung von Smart Services erfordert damit einen parallelen Blick auf das technische System, Serviceleistungen und das Geschäftsmodell. So können technische Potentiale für Serviceleistungen und Geschäftsmodelle genutzt und andersherum deren Anforderungen an das technische System berücksichtigt werden.

Cyber-physische Systeme (CPS)

Das Technologiekonzept Cyber-Physische Systeme basiert ebenfalls auf der Nutzung fortschrittlicher Informations- und Kommunikationstechnologie. Der Fokus liegt jedoch stärker in den Bereichen Vernetzung mit anderen Systemen, Nutzung von Daten und Diensten sowie multimodaler Mensch-Maschine-Schnittstellen [GB12, S. 22], [Wes17, S. 13]. CPS werden als eingebettete Systeme³ beschrieben, welche zur Überwachung und Steuerung von physikalischen Vorgängen genutzt und über globale Datennetze miteinander vernetzt werden [Bro10, S. 21]. Für Mensch-Maschine-Schnittstellen kann auf Technologien zurückgegriffen werden, welche eine intensivere Interaktion ermöglichen (z.B. Augmented Reality oder Touchscreens) [MP14, S. 486ff]. Bild 2-7 zeigt die Referenzarchitektur für CPS nach WESTERMANN [Wes17, S. 94].

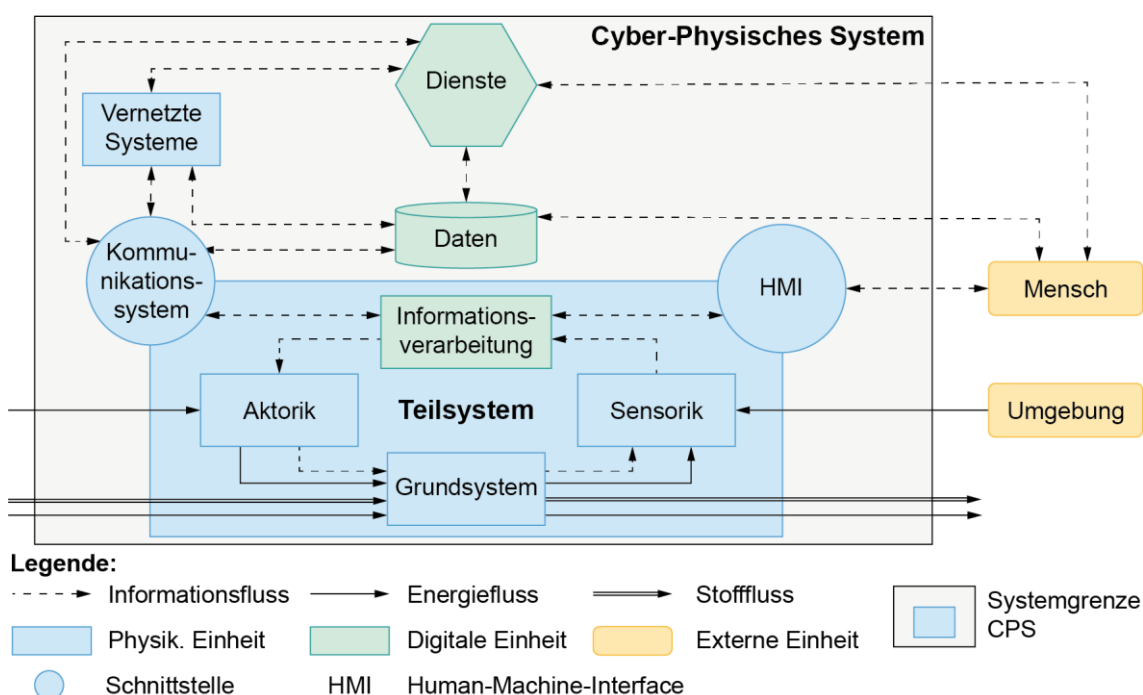


Bild 2-7: Referenzarchitektur für CPS nach Westermann [Wes17, S. 94]

Die Referenzarchitektur stellt mit den zusätzlichen Elementen das Produkt für einen Smart Service dar, welches beim Entwurf berücksichtigt werden muss. Dienste erfordern eine dynamische Sicht auf Systeme, um nicht nur das Verhalten des Systems, sondern auch die Serviceerbringung darzustellen, welche die Betrachtung der Nutzerinteraktion erfordert. Systemdaten sind die Basis für Smart Services, wobei die Datenanalyse als Element abgebildet werden muss. Ein Datenanalysekonzept muss den Weg von Daten zu Informationen beschreiben, welche dann als Service bereitgestellt werden. Eine Darstellung des Datenflusses ist an der Stelle nicht ausreichend.

³ Definition eingebetteter Systeme nach BROY ET AL.: „Ein eingebettetes System [...] ist eine Software-/Hardware-Einheit, die über Sensoren und Aktuatoren mit einem Gesamtsystem verbunden ist und darin Überwachungs-, Steuerungs- beziehungsweise Regelungsaufgaben übernimmt [BBK98, S. 13].“

2.2.3 Datenanalyse im Internet der Dinge

Die zuvor beschriebenen Technologiekonzepte fokussieren die Weiterentwicklung technischer Systeme ausgehend von mechanischen Systemen in der physischen Welt. Das Technologiekonzept *Internet der Dinge* nutzt das Internet und die virtuelle Welt als Ausgangspunkt und stellt die *Analyse der Daten vernetzter Systeme* in den Vordergrund.

Internet der Dinge

Die Vision des Internet der Dinge beschreibt eine Verlängerung des Internets in die reale Welt, wodurch jegliche Gegenstände Teil des Internets werden können [MF10, S. 107]. Oftmals wird die englische Bezeichnung Internet of Things (IoT) genutzt. Ziel des Konzepts ist die Vernetzung von Dingen statt einer umfassenden Funktionsintegration, wofür günstige und energiesparende Hardware notwendig ist [Fle10, S. 3]. Aufgrund dessen stand mit dem Aufkommen des Konzepts die Technologie RFID als Befähiger im Vordergrund [Bul07, S. 24]. Generelle Treiber sind Miniaturisierung und Preisverfall von elektronischen Bauteilen, wodurch vergleichsweise günstige Gegenstände mit Sensorik, Mikroprozessoren und Kommunikationskomponenten ausgestattet werden können [FM08, S. 272], [FST09, S. 99].

PORTER/HEPPELMANN erläutern die realisierbaren Funktionserweiterungen durch vier Gruppen: Überwachung, Steuerung, Optimierung und Automatisierung. Jede Gruppe baut auf die vorherige Gruppe auf, d.h. Steuerungsfunktionen benötigen als Basis eine Überwachungsfunktion [PH14, S. 8]. Nach FLEISCH et al. ergeben sich durch die Funktionserweiterungen drei Nutzenpotentiale [FWW17, S. 5ff]:

Hochauflösende Management-Regelkreise: Eine unternehmerische Entscheidung basiert auf der Beurteilung von Daten. Durch das IoT können Daten automatisiert, kontinuierlich und kostengünstig erzeugt werden. Beispielsweise können Lagerstände permanent durch vernetzte Ladungsträger gemessen werden, statt durch manuelle, jährliche Inventuren. Die Daten sind detaillierter und fallen häufiger an, wodurch Entscheidungen schneller, zeitnäher und intelligenter werden [FWW17, S. 5], [FM08, S. 275].

Digitale Geschäftsmodellmuster für physische Produkte: Die Monetarisierung des Nutzens von IoT-Anwendungen kann durch digitale Geschäftsmodellmuster⁴ erfolgen [FWW17, S. 6], [WBW+17, S. 10ff]. Ein Beispiel ist das Muster Leverage Customer Data: Ein Produkt wird kostenlos bereitgestellt und durch die erzeugten Daten querfinanziert. Im Beispiel des vernetzten Ladungsträgers kann der Ladungsträger kostenlos bereitgestellt werden. Die durch die Sensorik gemessenen Verbrauchsdaten können die entstandenen Kosten querfinanzieren, durch z.B. deren Verkauf an ein Unternehmen, welches eine automatische Nachlieferung des Inhalts anbieten kann.

⁴ Geschäftsmodellmuster beschreiben wiederkehrende Bausteine erfolgreicher Geschäftsmodelle [Ams16, S. 5], [GWE+17, S. 27]. Für digitale Geschäftsmodelle ist IT konstituiert, d.h. ohne den Einsatz von IT ist diese nicht realisierbar, wie z.B. E-Commerce [FWW17, S. 2].

Steigerung des Kundennutzens bestehender Produkte: Ein physisches Produkt erhält durch eine IoT-Anwendung einen zusätzlichen Kundennutzen durch einen IT-basierten Service, welcher die ursprüngliche, sog. Ding-basierte Funktion ergänzt [FWW17, S. 8f], [PH14, S. 4]. Bild 2-8 zeigt die Kombination aus Ding-basierter Funktion und IT-basierendem Service, welche auch als Produkt-Service-Logik bezeichnet wird.

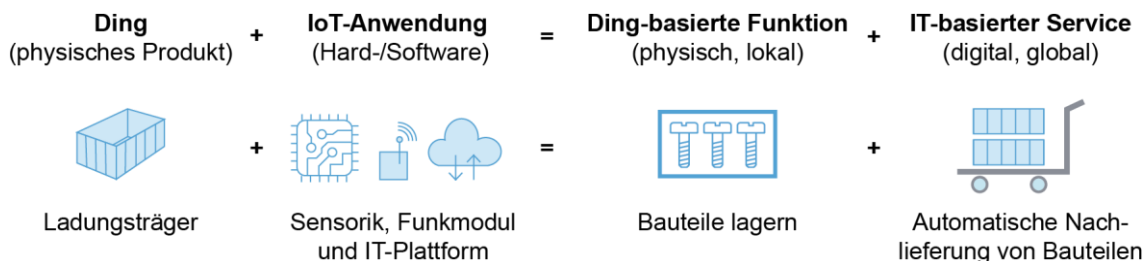


Bild 2-8: Produkt-Service-Logik im Internet der Dinge [FWW17, S. 8]

Der gezeigte Ladungsträger besitzt ohne IoT-Anwendung einen vergleichsweise geringen Kundennutzen – er dient zur Lagerung von Bauteilen. Durch die IoT-Anwendung kann eine automatische Nachlieferung der im Ladungsträger befindlichen Bauteile realisiert werden, wodurch der Kundennutzen erheblich steigt. Aus dem Konzept lässt sich folgern, dass bei einer IoT-Anwendung die Konzipierung des Service im Vordergrund steht, als Quelle des wesentlichen Nutzens. Die technische Veränderung des physischen Produkts muss ebenfalls geplant werden, jedoch ausgehend von geplanten Services. Service und technische Umsetzung müssen als ein System betrachtet und konzipiert werden.

Analyse von Daten vernetzter Systeme

Bis 2020 sollen weltweit 20 Milliarden Geräte mit dem Internet verbunden sein, welche nicht universell einsetzbar⁵ sind [Gar17, S. 2]. Viele der bereits heute erzeugten Daten werden jedoch nicht genutzt und genutzte Daten münden in einfachen Überwachungsfunktionen, welche das Potential der Datenanalyse nicht ausschöpfen [MCB+15, S. 25]. Große Datenmengen (Big Data) werden durch fünf Eigenschaften (5V-Modell) charakterisiert. Technische Eigenschaften sind großes Datenvolumen (Volume), hohe Geschwindigkeit der Datenerzeugung und -verarbeitung (Velocity) sowie viele unterschiedliche Datenquellen und -formate (Variety). Wirtschaftliche Eigenschaften sind Zuverlässigkeit und Wert der Daten (Veracity, Value) [BKR+16, S. 32] [BMH+17, S. 11].

Zur Datenanalyse für IoT-Anwendungen werden Methoden genutzt, welche die Herausforderungen der Eigenschaften Volume, Velocity, Variety und Veracity adressieren [BIT14, S. 23ff]. Der Wert der Daten (Value) ist jedoch wesentlich, um Nutzenpotentiale von Smart Services zu erschließen. Bild 2-9 zeigt ein Stufenmodell zur Beschreibung von Analysefähigkeiten, welches die Datenanalyse in einem generischen Handlungsprozess einordnet und damit Hinweise auf den Wert erzeugter Daten gibt [KJR+18, S. 164].

⁵ Smartphones und Personal Computer sind universell einsetzbar und nicht in der Zahl enthalten.

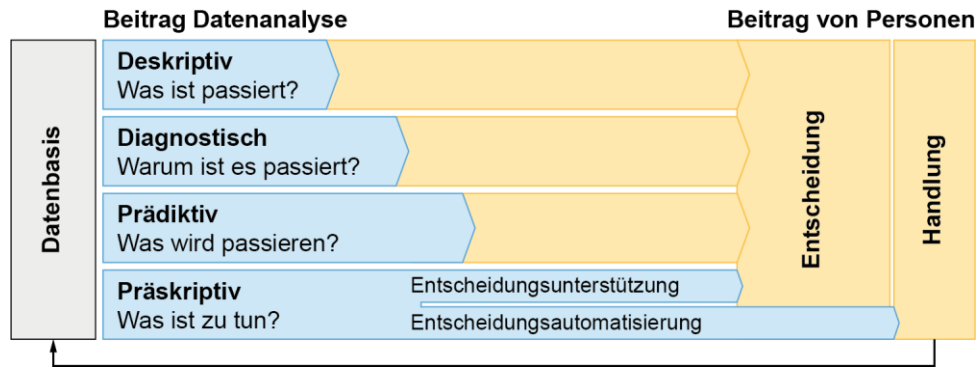


Bild 2-9: Stufenmodell zur Beschreibung von Analysefähigkeiten [SSJ+17, S. 7], [KJR+18, S. 163]

Das Modell beschreibt den Beitrag der maschinellen Datenanalyse, um eine Handlung herbeizuführen. Der Beitrag wird durch vier Anwendungsfälle abgestuft (deskriptiv, diagnostisch, prädiktiv, präskriptiv). Im oben genannten Beispiel des Ladungsträgers ermöglicht eine deskriptive Datenanalyse eine kontinuierliche Inventarisierung, während eine präskriptive Analyse eine automatische Nachbestellung des Inventars ermöglicht. Für eine geeignete Datenbasis ist eine zielgerichtete Datenakquisition notwendig, welche Domänenwissen erfordert. Beispielsweise müssen die Haupteinflussgrößen auf einen Prozess oder verfügbare Sensorik bekannt sein [Rei16, S. 30]. Bild 2-10 zeigt den Cross-Industry Standard Process for Data Mining (CRISP-DM) zur Entwicklung von Datenanalyse-Anwendung erweitert um einen Schritt zur Datenakquisition

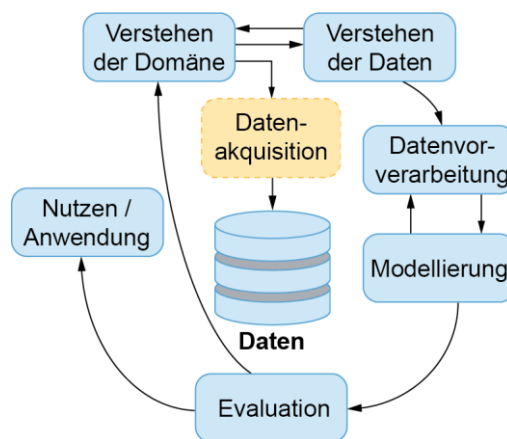


Bild 2-10: CRISP-DM erweitert um einen Schritt zur Datenakquisition [Rei16, S. 30]

Das Modell wurde von REINHARD um eine Phase zur Datenakquisition erweitert, welche gleichzeitig als methodisches Handlungsfeld bezeichnet wird [Rei16, S. 30]. Für die vorliegende Arbeit ist eine methodische Identifikation von Daten um ein Produkt notwendig, welche den Wert der Daten für einen Kunden und damit ein Serviceangebot berücksichtigt. Hierbei sollten insbesondere bestehende Daten identifiziert werden, um kostenaufwändige Veränderungen an der Hardware eines Produktes zu vermeiden. Des Weiteren ist es notwendig eine Logik abzubilden, wie aus Daten Informationen werden, als ein Kernelement von Smart Services.

2.3 Evolution der Marktleistungen im produzierenden Gewerbe

Die Analyse der Evolution der Marktleistungen soll die grundsätzlichen Mechanismen und Potentiale des produkt-begleitenden Servicegeschäfts zeigen, welche auf das digitale Servicegeschäft übertragbar sind. Die Übertragung führt zu Potentialen und Herausforderungen für die Konzipierung von Smart Services. Die Evolution geht über die Weiterentwicklung vom Produkt zum Produkt-Service System (2.3.1), über Produkte als Service (2.3.2) hin zu Marktleistungen auf digitalen Plattformen (2.3.3).

2.3.1 Vom Produkt- zum Serviceanbieter

Die Ergänzung von Produkten durch Services ist nicht neu und wird in unterschiedlichen wissenschaftlichen Communities diskutiert [BT13]. Der Begriff *Servitization* steht für den Wandel der Unternehmen von Produkt- zu Serviceanbietern und wird insbesondere im Bereich des strategischen Managements und Marketings diskutiert. Der Begriff *Produkt-Service System* beschreibt ein Marktleistungskonzept auf Basis technischer Systeme, wodurch das Konzept auch aus *ingenieurwissenschaftlicher Sicht* betrachtet wird.

Servitization

Servitization beschreibt eine Strategie im produzierenden Gewerbe, bei der Unternehmen ihren Fokus auf das Servicegeschäft um ihr Produkt richten. VANDERMERWE/RADA greifen den Begriff erstmals auf und beschreiben die Potentiale: Unternehmen können ihr Wissen über das Produkt nutzen und Problemlösungen als Service anbieten. Des Weiteren können Kunden befähigt werden, Services selbst auszuführen (Self-Service) [VR88, S. 316]. Der Übergang erfolgt in der Regel schrittweise durch sukzessives Hinzufügen von Servicekomponenten zum Marktleistungssportfolio [PP16, S. 780]. Bild 2-11 zeigt den idealtypischen Verlauf vom Produzenten zum produzierenden Dienstleister.

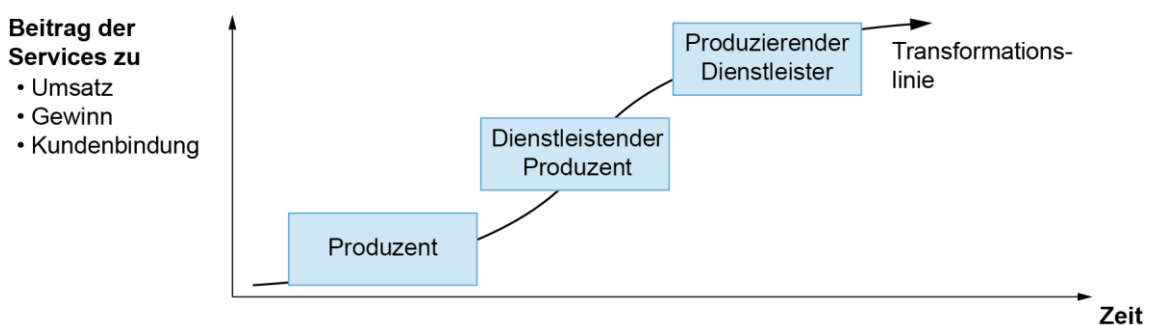


Bild 2-11: Wandel zum Dienstleister in Anlehnung an GEBAUER et al. [GJS16, S. 756]

BAINES et al. analysieren wesentliche Forschungsarbeiten im Bereich Servitization im produzierenden Gewerbe und kommen zu folgenden Ergebnissen: Gründe für die strategische Ausrichtung sind Steigerung von Umsatz und Profitabilität, Schaffung von Wettbewerbsvorteilen durch Differenzierung und Stärkung der Kundenbeziehung. Die Herausforderungen für Unternehmen liegen im Bereich der Konzipierung der Marktleistung

(Service Design) und Veränderung der Organisation und Wertschöpfung. Der Forschungsbedarf liegt im Bereich Methoden und Werkzeuge zur Lösung der genannten Herausforderungen in der Praxis [BLB+09, S. 558].

Produkt-Service Systeme

Als Produkt-Service Systeme (PSS) werden integrierte Kombinationen aus Produkt und Service beschrieben [BLE+07, S. 1545]. Das Konzept basiert auf den Annahmen der sog. servicedominanten Logik nach VARGO/LUSCH [VL04, S. 7], [VMA08, S. 148]: Ein Produkt dient zum Transport von Dienstleistungen, welche auf dem Produkt basieren und zu dessen Nutzung notwendig sind. Der Kundennutzen resultiert aus der Nutzung statt dem Eigentum des Produkts; die Nutzung durch den Kunden wird als Dienstleistung betrachtet. Die Charakterisierung von Dienstleistungen als immateriell ist damit hinfällig und Sachleistungen werden eine spezielle Form von Dienstleistungen.

Ein PKW ist damit ein Produkt, welches die Dienstleistung Mobilität ermöglicht [LPL16, S. 43]. Die Dienstleistung kann unterschiedlich ausgeprägt werden: Der Kunde kann durch den Kauf des PKW die Dienstleistung unbegrenzt nutzen, durch Leasing für einen längeren aber begrenzten Zeitraum oder durch Carsharing für wenige Stunden. Die Ausprägung der Dienstleistung wird durch das Erlös-konzept geprägt.

Mit dieser Logik können durch Kombination von Produkten, Services und Erlös-konzepten vielfältige Ausprägungen von Produkt-Service Systemen entstehen [Mon00, S. 63]. Neben wirtschaftlichen Vorteilen, soll das PSS-Konzept auch zu einer nachhaltigeren Nutzung von Ressourcen führen [BLE+07, S. 1543], [Mon02, S. 237]. Aufgrund dessen finden sich viele Beispiele im Bereich des Teilens von Gütern, wie z.B. Carsharing. Ein Produkt-Service System kann jedoch auch von einem Serviceanbieter ausgehen, welcher Services durch Produkte ergänzt. Bild 2-12 zeigt die zwei Entwicklungsmöglichkeiten hin zu Produkt-Service Systemen – ausgehend vom Produkt oder ausgehend vom Service.

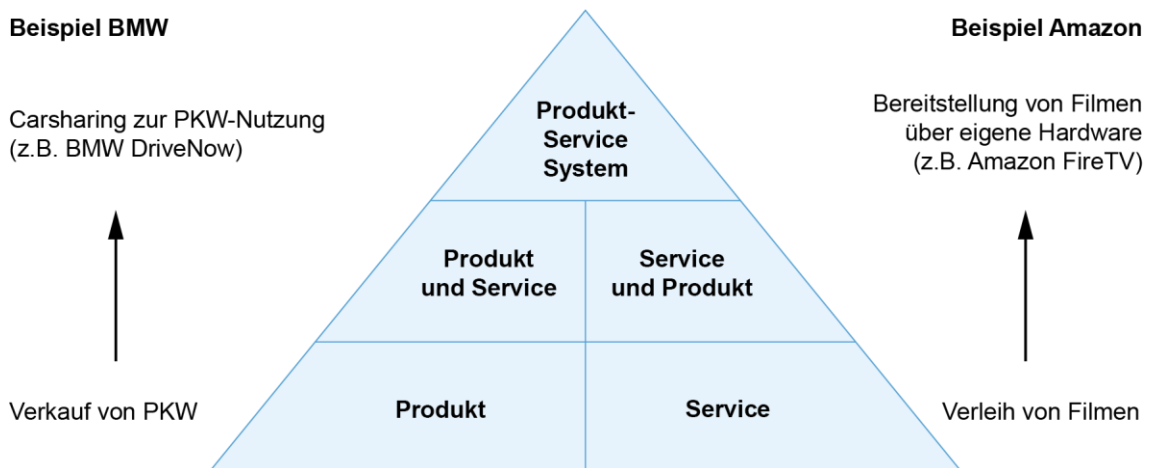


Bild 2-12: Evolution zu einem Produkt-Service System in Anlehnung an BAINES et al. [BLE+07, S. 1546] am Beispiel der Unternehmen BMW und Amazon

Für Produkt-Service Systeme ausgehend von Produkten bieten langlebige Güter eine geeignete Basis – d.h. Investitionsgüter (z.B. Produktionsmaschinen) oder langlebige Konsumgüter (z.B. Autos) [OK03, S. 163], [BLB+09, S. 560]. Diese Güter benötigen während ihres Betriebs eine Reihe von Services, dessen Kosten Kunden einplanen (Total Cost of Ownership). Es ergeben sich drei Vorteile für einen Produkthersteller [OK03, S. 164]:

- Die Kosten für die Kundenakquise sind geringer, da Kundenkontakte und Informationen über Betrieb befindlicher Produkte vorhanden sind.
- Die Anforderungen an die Services sind bereits bekannt, um den Betrieb der eigenen Systeme effektiv und effizient sicherzustellen.
- Vorhandene Produktionsressourcen können zur Fertigung von Ersatzteilen und Upgrades genutzt werden.

Produkt-Service Systeme aus ingenieurwissenschaftlicher Sicht

MEIER/UHLMANN beschreiben Produkt-Service Systeme als hybride Leistungsbündel (HLB) und als wissensintensives, soziotechnisches System mit Sach- und Dienstleistungsanteilen einschließlich Softwarekomponenten [MU12, S. 6]. Es erfolgt eine konsequente Ausrichtung der Marktleistung am Kundennutzen, wodurch ein Anbieter zunehmend Kundenaufgaben übernimmt. Die Elemente eines HLB werden entsprechend der Kundenprozesse flexibel miteinander kombiniert. Bild 2-13 zeigt die Evolution der Marktleistung zu hybriden Leistungsbündeln nach MEIER/UHLMANN.

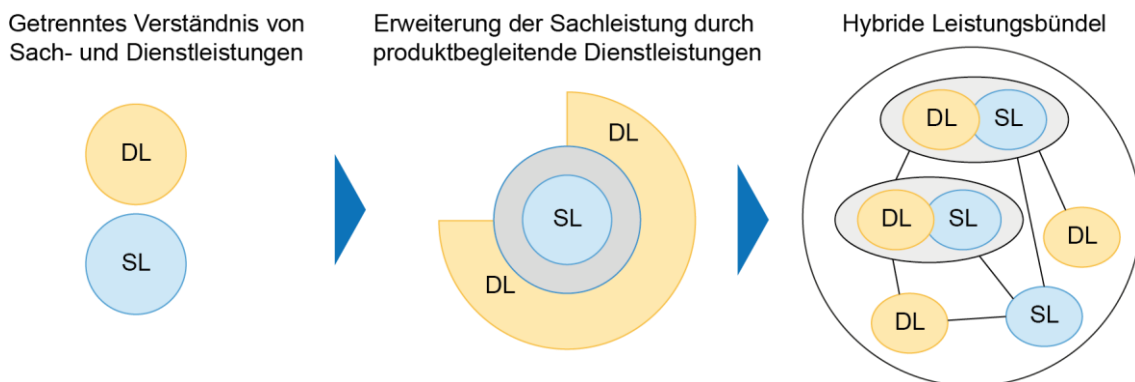


Bild 2-13: Evolution der Marktleistung zu hybriden Leistungsbündeln [MU12, S. 4]

SCHUH et al. betonen ebenfalls die vertikale Integration in die Kundenprozesse mit steigendem Serviceanteil, wodurch der Serviceanbieter Co-Produzent des Kunden wird [SBV10, S. 2073]. Beide Sichtweisen erfordern vom Serviceanbieter eine Betrachtung der Kundenprozesse und ermöglichen die Übertragung von Aktivitäten im Serviceprozess auf den Kunden. BULLINGER/SCHAEER empfehlen im Rahmen des Service Engineering die Anwendung betriebswirtschaftlicher Konzepte und die stärkere Berücksichtigung des dienstleistenden Personals [BS06, S. 5]. Weitere Ansätze beziehen sich nicht auf die Evolution der Marktleistung, sondern auf deren technische Entwicklung als System und werden im Abschnitt 2.5.3 dargestellt.

2.3.2 Angebot von Produkten als Service

Je umfangreicher ein Servicebündel die produktbegleitenden Kundenprozesse abdeckt, desto mehr kann sich der Kunde auf die Nutzung des Produkts konzentrieren, welche als Service angeboten wird (engl. Product-as-a-Service). *Betreibermodelle* beschreiben eine vollständige Übernahme der produktbegleitenden Prozesse. *Erlös-konzepte* sind ein wesentliches Charakteristikum, wenn Produkte als Service angeboten werden. Betreibermodelle und serviceorientierte Erlös-konzepte führen zu einer Reihe von *Herausforderungen* für Unternehmen, welche im Folgenden betrachtet werden.

Vom Produkt-Service System zum Betreibermodell

Wenn ein produzierendes Unternehmen alle produktbegleitenden Services einschließlich der Nutzung anbietet, dann handelt es sich um ein Betreibermodell: Der Kunde erwirbt nicht mehr das Produkt bzw. dessen Nutzung, sondern den Betrieb als Service. Betreibermodelle werden bei öffentlichen Infrastrukturprojekten (z.B. Betrieb eines Straßenmautsystems) und im Maschinen- und Anlagenbau (z.B. Betrieb einer Fertigungsmaschine) angewendet [SSS+16], [GDS09, S. 268]. Der Anbieter übernimmt damit direkte Betriebs- bzw. Produktionsverantwortung für den Kunden [LG14, S. 253]. In diesem Zusammenhang werden auch die Begriffe Lösungsanbieter und Ende-zu-Ende-Lösung diskutiert, wenn ein geschlossener Prozess des Kunden übernommen wird, durch Produkte, Services und die Orchestrierung weiterer Wertschöpfungspartner [LM12, S. 2].

Auf dem Weg zu einem Betreibermodell gibt es ein Spektrum von Ausprägungen der Marktleistung, welche sich in ihrem Anteil an Produkt- und Serviceleistungen unterscheiden. Eine Einteilung der Ausprägungen kann durch die Kategorien produkt-, nutzungs- und ergebnisorientiert erfolgen [Tuk04, S. 248]. Auf dem Weg zu einem Betreibermodell steigt zudem der Integrationsgrad von Produkt und Service, und es ergeben sich drei Kategorien von Produkt-Service Systemen [LG14, S. 252]. Ein weiteres Unterscheidungskriterium zwischen den Ausprägungen ist das Erlös-konzept, welches sich mit Zunahme der Leistungen verändert. Bild 2-14 zeigt das Spektrum der Marktleistungen und die drei Kategorien von Produkt-Service Systemen.

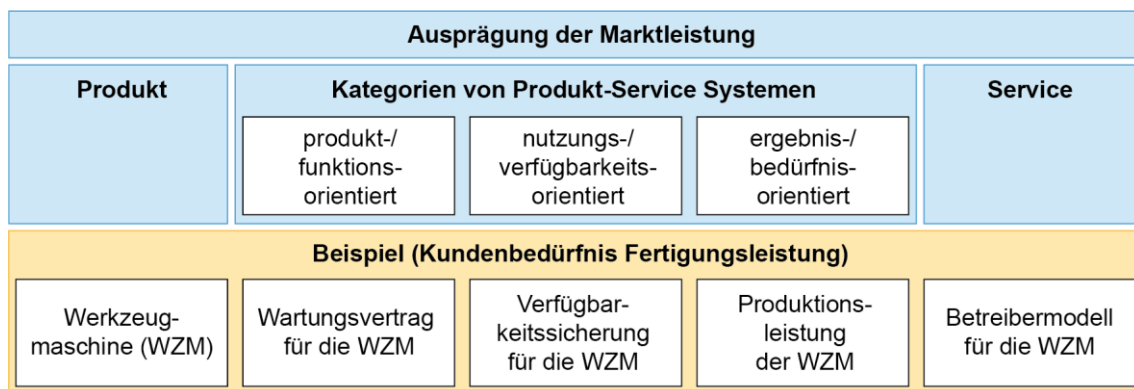


Bild 2-14: Spektrum der Marktleistung in Anlehnung an TUKKER [Tuk04, S. 248] und GAUSEMEIER/PLASS [GP14, S. 160]

Die drei Kategorien lassen sich hinsichtlich der Verantwortung des Anbieters für ein Produkt und des Erlöskonzepts charakterisieren [RPÖ15, S. 66], [LG14, S. 252]:

- **Produktorientierte Leistungsbündel:** Die Marktleistung enthält ein Produkt und Vereinbarungen über die Erbringung von Services, wie z.B. Wartungsverträge oder Ersatzteilversorgung. Der Anbieter ist verantwortlich für die Erbringung der vereinbarten Services. Der Kunde zahlt separat für Produkt und erbrachte Services.
- **Nutzungsorientierte Leistungsbündel:** Der Anbieter übernimmt die Verantwortung für die Betriebsbereitschaft eines Produkts mithilfe diverser Services, wie z.B. Wartung und Reparatur. Die Nutzung des Produkts erfolgt durch den Kunden, welcher Zahlungen für die Verfügbarkeit leistet (z.B. pro Stunde oder pro Monat).
- **Ergebnisorientierte Leistungsbündel:** Der Anbieter ist für das Ergebnis verantwortlich, welches sich aus der Nutzung des Produkts ergibt. Die Nutzung des Produkts erfolgt ebenfalls durch den Kunden, welcher dann jedoch für das Ergebnis zahlt (z.B. pro produziertes Teil oder gefahrener Kilometer).

Der letzte Schritt zum Betreibermodell besteht in der vollständigen Übernahme des Betriebs, d.h. der Anbieter nutzt das Produkt für den Kunden. Grundsätzlich zeigt sich, dass mit jeder Stufe zum Betreibermodell nicht nur der Umfang der für den Kunden übernommenen Tätigkeiten zunimmt, sondern auch die Risiken für z.B. Ausfälle oder Qualität.

Erlöskonzept

Durch die vorangegangenen Abschnitte wird deutlich, dass das Erlöskonzept als Teil des Geschäftsmodells ein prägendes Element beim Wandel von Produkt- zu Serviceleistungen ist. Nach GAUSEMEIER et al. beschreibt das Geschäftsmodell wie ein Unternehmen Werte schafft, Kundennutzen stiftet und Zahlungsbereitschaft erzeugt. Es kann als Geschäftslogik eines Unternehmens zusammengefasst werden und bildet komplexe, geschäftliche Zusammenhänge ab [GWE+17, S. 23ff], [GDE+19, S. 340ff].

Für die vorliegende Arbeit ist der Zusammenhang zwischen Nutzenversprechen und Erlöskonzept relevant. Ein Nutzenversprechen beschreibt, wie eine Marktleistung Gewinne für den Kunden erzeugt oder Probleme löst. Ein Erlöskonzept beschreibt, wie ein Unternehmen das Nutzenversprechen in Erlöse wandelt [GWE+17, S. 23ff], [GDE+19, S. 340ff]. Das Erlöskonzept bestimmt, wieviel ein Kunde für eine Marktleistung zahlen muss, d.h. den Preis. Synonyme für Erlöskonzept sind Preiskonzept, Bezahlmodell und Ertragsmodell [KHH+11, S. 165], [OP11, S. 34ff], [Wir11, S. 141], [WBW+17, S. 6].

Eine Herausforderung ist das Erzeugen von Zahlungsbereitschaft bei potentiellen Kunden, um die vom Unternehmen erbrachte Wertschöpfung zu monetarisieren. BONNEMEIER et al. zeigen eine Kategorisierung von Erlöskonzepten für Produkt-Service Systeme und fassen die wesentlichen Gestaltungsmöglichkeiten zusammen [BBR10, S. 230]. Im Fokus steht der Wechsel der Preisorientierung von den entstandenen Kosten zum realisierten Kundennutzen. Bild 2-15 zeigt Erlöskonzept-Kategorien in der Übersicht.

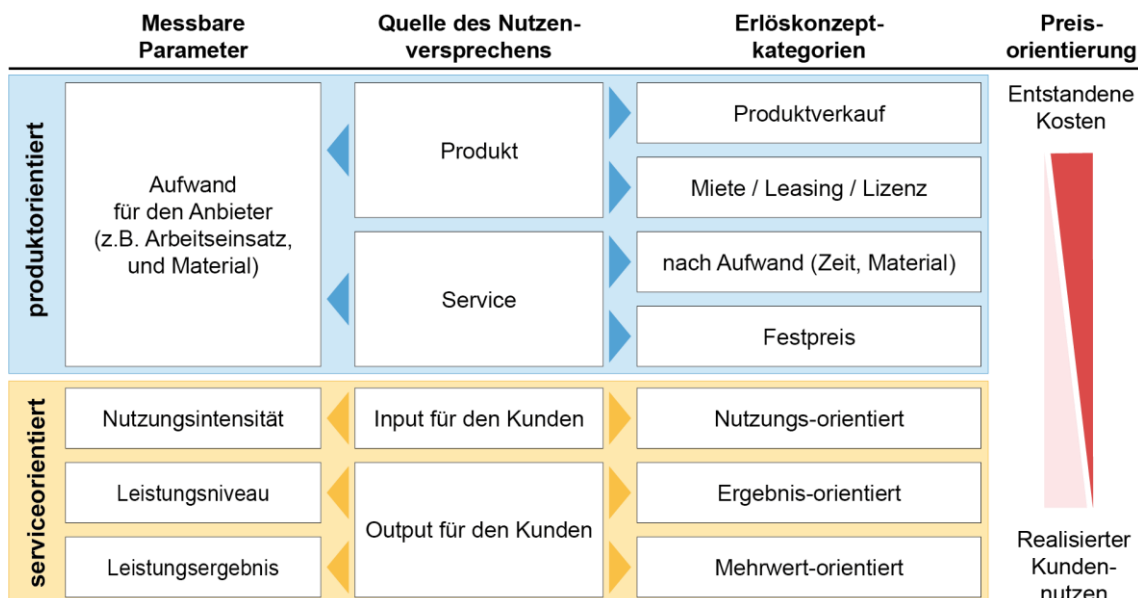


Bild 2-15: Produkt- und serviceorientierte Erlös-konzepte in Anlehnung an BONNEMEIER et al. [BBR10, S. 230]

Produktorientierte Erlös-konzepte (in blau) orientieren den Preis an den entstandenen Kosten durch die Wertschöpfung, wie z.B. Produktionskosten oder Aufwand und Material zur Erbringung einer Dienstleistung. Serviceorientierte Erlös-konzepte (in gelb) orientieren den Preis an Nutzung, Ergebnis oder Mehrwert einer Marktleistung. Die Preisorientierung (in rot) verschiebt sich von entstandenen Kosten zu realisiertem Kundennutzen. Auf der einen Seite können Unternehmen den Nutzen umfassender monetarisieren und die Kundenzufriedenheit steigern, da Kunden nur zahlen, wenn das Nutzenversprechen eingelöst wird. Auf der anderen Seite übernehmen Unternehmen zusätzliche Risiken für den Kunden und können die entstanden Kosten nicht decken, wenn der Kundennutzen nicht ausreichend eintritt.

Durch die Übernahme der Risiken erzeugt das Erlös-konzept selbst ein Nutzenversprechen, welches zusätzliche Zahlungsbereitschaft hervorrufen kann. Bild 2-16 zeigt die Risiken und zusätzlichen Nutzenversprechen unterschiedlicher Erlös-konzepte nach STOPPEL/ROTH [SR16], [Sto16, S. 57ff], [SR17, S. 83].

Erlös-konzept	Art der Bezugsgröße	Nutzenversprechen
verfügbarkeitsorientiert (z.B. Pay-for-availability, Fixed-fee Pricing)	Einhaltung einer Verfügbarkeitsgröße (z.B. unterbrechungsfreie Laufzeit, min. Output pro Stunde)	+ Investitionsrisiko + Verfügbarkeitsrisiko + Qualitätsrisiko + Kapitalkostensenkung
nutzungsorientiert (z.B. Pay-per-use, Pay-per-hour)	Nutzungsintensität (z.B. Nutzungshäufigkeit, Nutzungszeit)	+ Marktrisiko + Kapazitätsrisiko + Prozessrisiko
ergebnisorientiert (z.B. Pay-per-unit, Pay-on-production)	Ergebnis der Nutzung (z.B. Anzahl erfolgreich produzierter Einheiten, Anzahl nutzbarer Einheiten)	+ Effizienz/Effektivität

Bild 2-16: Nutzenversprechen durch Erlös-konzepte nach STOPPEL/ROTH [SR17, S. 83]

Wenn das Nutzenversprechen messbar wird (z.B. eine höhere Verfügbarkeit eine Maschine durch einen Wartungsvertrag) und der Preis am Grad der Erfüllung gekoppelt ist (z.B. Zahlung pro verfügbarer Maschinenstunde), dann hat der Anbieter hohes Interesse das Nutzenversprechen zu realisieren. Für Kunden sinkt das Risiko, das Anbieter die Versprechen nicht halten. Für Anbieter steigt der Anreiz, Dienstleistungen effektiv und effizient auszuführen, um die Erlöse zu steigern. Für Smart Services ist dieser Aspekt besonders relevant, da davon auszugehen ist, dass Kunden Erfahrungswerte fehlen und ein Risiko im Nichterfüllen des Nutzenversprechens sehen. Es lässt sich folgern, dass an das Nutzenversprechen gekoppelte Erlös-konzepte ein Erfolgsfaktor für Smart Services sind.

Neue Möglichkeiten für Erlös-konzepte

Im Zuge der Digitalisierung und des Internethandels werden Erlös-konzepte vermehrt diskutiert [KHH+11, S. 164]. Durch geringe Grenzkosten⁶ von digitalen Services entstehen neue Gestaltungsmöglichkeiten für Erlös-konzepte. Es sind neue Erlös-konzepte entstanden, wie z.B. Flatrate – durch einen Pauschalpreis kann eine Marktleistung für einen Zeitraum unbegrenzt genutzt werden. Sensorik und Datenanalyse ermöglichen individuelle Preismechanismen, wie z.B. die Beteiligung des Serviceanbieters an den Energieeinsparungen eines Kompressors [Sim17, S. 267]. Zustand, Nutzungsintensität oder erzielt Ergebnis einer Marktleistung können besser gemessen werden, um die Basis für Erlös-konzepte zu bilden. Die Vernetzung von Systemen ermöglicht Überwachung und Eingriffe aus der Ferne, um z.B. Software-Updates zu geringen Kosten zu übertragen und damit den Energieverbrauch zu optimieren [MCB+15, S. 33].

Herausforderungen von serviceorientierten Erlös-konzepten

GEBAUER et al. beschreiben einen gegenwärtigen Trend, bei dem sich Unternehmen wieder auf die Produktion von Produkten und deren Verkauf konzentrieren. Grund ist das sog. Service-Paradoxon: Produzierende Unternehmen bieten mehr Services um ihre Produkte an, wobei die Erträge nicht proportional zu den Kosten steigen, welche für die Einführung der Serviceorganisation entstehen [GF05, S. 71], [GFF05, S. 24]. Die Studie Smart Service Welten beschreibt ebenfalls die Schwierigkeiten, produktbegleitende Services zu monetarisieren und Investitionen zu amortisieren [KRH+15, S. 18]. Als Gründe können drei Herausforderungen angenommen werden, welche bei der Konzipierung von Smart Service berücksichtigt werden sollten:

- 1) **Preiskalkulation:** Wenn sich der Preis nicht an den Kosten orientiert, besteht ein erhöhtes Risiko von Fehlkalkulationen. Beispielsweise hat ein Hersteller von Lackieranlagen ein ergebnisorientiertes Erlös-konzept angeboten: Der Kunde zahlt pro

⁶ Grenzkosten sind die Kosten, welche für eine zusätzlich produzierte Einheit anfallen [VS12, S. 33]. Im Falle von digitalen Services handelt es sich i.d.R. nur um die Kosten für zusätzliche Rechenleistung, welche vernachlässigbar sind, wodurch Flatrate-Modelle auch bei intensiver Nutzung profitabel bleiben.

erfolgreich lackiertem Bauteil. Das Modell wurde wieder eingestellt, da die Vorhersagen der Anlagenauslastung nicht belastbar, aber wesentlich für die Preiskalkulation waren [KKG+17, S. 6].

- 2) **Kundenintegration:** Nutzenversprechen können teilweise nur mithilfe des Kunden realisiert werden, z.B. durch die korrekte Bedienung einer Maschine [Ng10, S. 277], [VMA08, S. 148]. Das Nutzenversprechen wird erst realisiert, wenn der Kunde motiviert und befähigt wird, den notwendigen Teil der Wertschöpfung korrekt auszuführen. Bei serviceorientierten Erlös Konzepten die Kundeintegration ein kritischer Faktor und muss bei der Planung berücksichtigt werden.
- 3) **Lieferantenintegration:** Neben dem Kunden werden in der Regel weitere Partner in die Wertschöpfung eingebunden, wie z.B. Logistik- oder Reparaturdienstleister. Die Partner müssen motiviert und befähigt werden, sich wie gefordert einzubringen, um das Nutzenversprechen zu realisieren. Ein Erlös Konzept muss damit unter Berücksichtigung von Partnern geplant werden [KPL16, S. 13], [Ng10, S. 279].

2.3.3 Marktleistungen auf digitalen Plattformen

Digitale Plattformen haben bereits eine Reihe von Branchen verändert, wie z.B. das Hotel- und Taxigewerbe durch die Plattformen Airbnb und Uber [THA17, S. 179f]. Ein Teil der Marktleistung wurde digitalisiert (z.B. die Suche einer Unterkunft und die Bezahlung einer Taxifahrt), wodurch die Marktleistungen auf digitalen Plattformen angeboten werden können. Die *Digitalisierung von Produkt-Service-Systemen* ermöglicht die Anwendung der *Mechanismen digitaler Plattformen* auf Smart Services.

Digitalisierung von Produkt-Service Systemen

Der Einfluss von Informations- und Kommunikationstechnologie (IKT) auf Serviceinnovationen führt zu verschiedenen Herausforderungen und wissenschaftlichen Perspektiven auf das Themenfeld [KGL+17]. Die Weiterentwicklung technischer Systeme führt zur Digitalisierung physischer Marktleistungen, wodurch Serviceinnovationen und der Wandel vom Produkt- zum Serviceanbieter beschleunigt werden [LN15, S. 172], [LG14, S. 250]. Bild 2-17 zeigt die verschiedenen Evolutionsstufen hin zu digitalen Produkt-Service Systemen abhängig vom Beitrag digitaler Komponenten zum Servicegeschäft.

IT-unterstützte Services ermöglichen eine teilweise Entkopplung von Erbringung und Konsumierung eines Service (Uno-Actu-Prinzip) und damit die Möglichkeiten, Services an entfernten Standorten ohne Personalressourcen vor Ort zu erbringen [KMM11, S. 89], [LG14, S. 256]. Beispiele sind Fernwartung und digitale Anleitungen, welche durch das Internet, mobile Endgeräte und Augmented/Virtual Reality-Anwendungen ermöglicht werden. Bestehende Services werden durch den Einsatz von IT durch digitale Komponenten effizienter und effektiver.

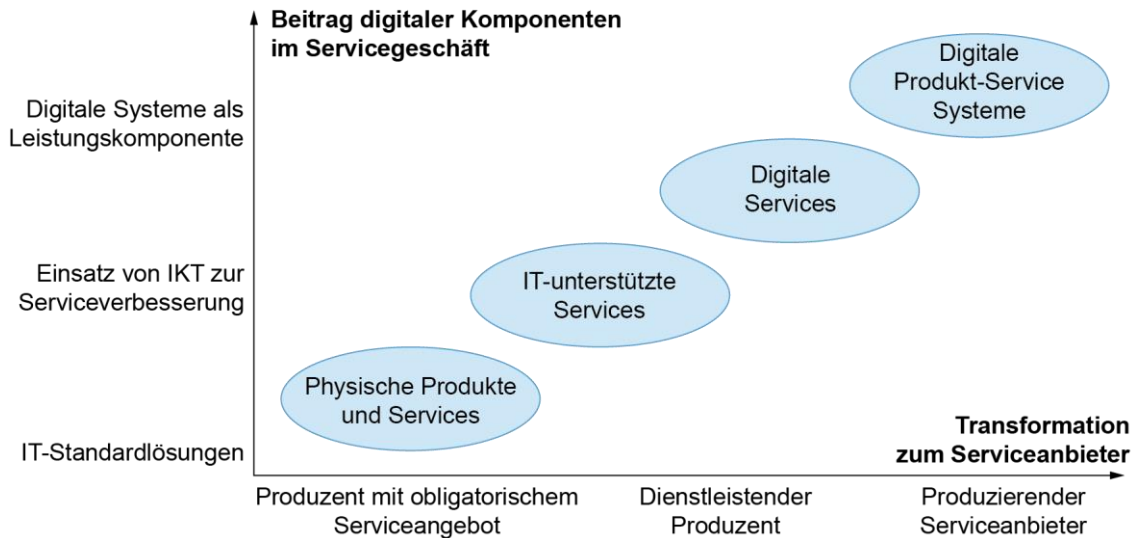


Bild 2-17: *Evolutionstufen der Marktleistung unter Einfluss der Digitalisierung und der Transformation vom Produkt- zum Serviceanbieter [LG14, S. 263]*

Digitale Services basieren vollständig auf digitalen Komponenten und erzeugen ein digitales Leistungsergebnis. Ein Beispiel ist die Bereitstellung von Software zur Erstellung von Wartungsplänen für eine Werkzeugmaschine. Im Gegensatz zum IT-unterstützten Service, kann ein digitaler Service ohne die digitalen Komponenten nicht erbracht werden [LG14, S. 258]. Erbringung und Konsumierung werden vollständig entkoppelt, wodurch die Qualität von Erbringung und Ergebnis homogen und besser kontrollierbar ist. Digitale Services können vorgehalten und sofort bereitgestellt werden [Sal14, S. 3].

Digitale Produkt-Service Systeme sind das Ergebnis einer Integration von digitalen Services in klassische Produkt-Service Systeme. Beispielsweise wird dem Kunden die Verfügbarkeit einer Werkzeugmaschine angeboten, welche aus dem Zusammenspiel von physischen und digitalen Services erreicht wird. Die physische Wartung kann durch die Erstellung digitaler Wartungspläne unterstützt werden [LG14, S. 263]. Im Kontext der vorliegenden Arbeit handelt es sich um Smart Services.

Mechanismus digitaler Plattformen

Das Grundprinzip von Plattformen ist das Zusammenbringen von Angebot und Nachfrage, wie z.B. Einkaufszentren als Plattform für Konsumenten und Händler. Digitale Plattformen verbinden Angebot und Nachfrage durch IT-Systeme über das Internet, wodurch die Teilnahmekosten gering sind, die geografische Reichweite unbegrenzt ist und die Plattform schnell skaliert werden kann [Sie16, S. 6]. Durch diese Vorteile tritt der positive Netzwerkeffekt schneller ein: Wenn die Anzahl der Akteure auf der Plattform steigt, dann wird die Plattform für die gleiche oder eine andere Gruppe von Akteuren attraktiver und wächst sehr schnell. Der Apple Appstore ist ein Beispiel für eine digitale Plattform und zeigt die enorme Wirkung des Netzwerkeffekts [APC16, S. 25].

Marktleistungen entstehen zunehmend durch die Verknüpfung von Leistungen unterschiedlicher Partner in einem Wertschöpfungssystem [GWE+17, S. 38], [BH15, S. 17ff]. Über eine digitale Plattform können die Leistungen einfacher verknüpft, gebündelt und gehandelt werden [DF15, S. 41]. Besonderes Potential ergibt sich für die Bündelung von Produkten und digitalen Services zu Smart Services. Es können verschiedene Plattformen für einzelne Märkte entstehen, wobei Grundstruktur und Rollen immer gleich sind [APC16, S. 25], [DFG17, S. 364]. Bild 2-18 zeigt die vier generischen Rollen auf einer digitalen Plattform in Bezug auf Smart Services.

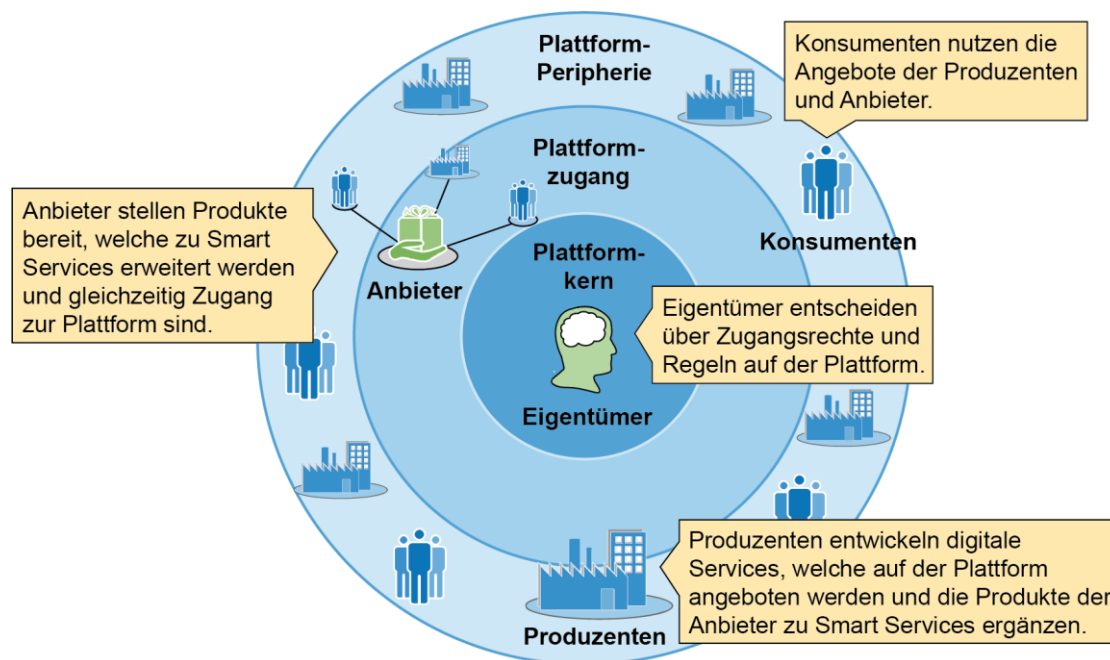


Bild 2-18: Rollen auf digitalen Plattform [DFG17, S. 364] in Bezug auf Smart Services

Produzierende Unternehmen können theoretisch alle Rollen einnehmen, welche jeweils mit Potentialen und Gefahren verbunden sind [BS15, S. 15], [DGK+17, S. 57], [APC16, S. 29]. Naheliegender ist die Rolle des Anbieters, indem eigene Produkte an eine Plattform angebunden werden und sich dann einfach durch digitale Services ergänzen lassen. Es besteht die Gefahr, dass fremde Produzenten das Wertschöpfungspotential von Smart Services abschöpfen und die Kundenschnittstelle besetzen. Produzenten profitieren vom Zugang zu einem großen Markt, niedrigen Transaktionskosten und der Nutzung fremder Produkte für eigene Services. Für Anbieter und Produzenten besteht die Gefahr von mächtigen Plattformen abhängig zu werden [Bun17, S. 57], [PLL+17, S. 42]. Als Plattform-Eigentümer können Unternehmen den Gefahren und der Abhängigkeit entgehen sowie Produkte anderer Anbieter an die Plattform anbinden. Die Herausforderung ist das Erreichen der kritischen Masse bis der Netzwerkeffekt greift.

Im produzierenden Gewerbe und insbesondere B2B-Märkten sind digitale Plattformen als Form der Wertschöpfung ein eigenes Forschungsfeld und werden in der vorliegenden Arbeit nicht betrachtet. Vielmehr wird deutlich, dass produzierende Unternehmen eigene Smart Services entwickeln müssen, um sich auf die Rolle des Produzenten vorzubereiten.

2.4 Smart Services – Konzept einer neuen Marktleistung

Smart Services werden durch die zuvor gezeigten Entwicklungen für das produzierende Gewerbe relevant: Die Weiterentwicklung technischer Systeme sowie die Evolution der Marktleistung. Aspekte der Abschnitte 2.2 und 2.3 werden zusammengeführt und Smart Services als synergetisches Konzept analysiert, um Anforderungen für die Konzipierung abzuleiten. Abschnitt 2.4.1 beschreibt die Grundidee und gibt einen Überblick über Charakteristika von Smart Services. In Abschnitt 2.4.2 werden die resultierenden Veränderungen von Geschäftsmodell und Wettbewerb beschrieben, welche produzierende Unternehmen berücksichtigen müssen. Abschnitt 2.4.3 zeigt die Architektur der Wertschöpfung, um eine technische Realisierung des Marktleistungskonzepts zu erreichen.

2.4.1 Grundidee

In Abschnitt 2.1 wurde der Begriff Smart Service für die vorliegende Arbeit definiert. Es handelt sich um Produkt-Service-Systeme, welche physische Produkte mit digitalen Services kombinieren. Der digitale Service baut auf den Daten des physischen Produkts auf, wodurch der Service nur mit dem Produkt erbracht, aber separat gehandelt werden kann, wie z.B. auf digitalen Plattformen. Physische Services können auf gleiche Weise mit digitalen Services kombiniert werden. Dieses Konzept führt für Unternehmen zu einer *Personal- und Ortsunabhängigkeit von Services*, einer *veränderten Kundeninteraktion* und der *Notwendigkeit der Nutzung von Daten*.

Personal- und Ortsunabhängigkeit von Services

LEVITT beschrieb bereits 1976 die Industrialisierung und Automatisierung von Dienstleistungen durch den Einsatz von Technologien, um den Personaleinsatz und die Ortsabhängigkeit zu reduzieren [Lev76]. Mit zunehmender Vernetzung und Intelligenz der Produkte, ergeben sich neue Möglichkeiten zur Automatisierung. Durch die Digitalisierung von Services in Verbindung mit mechatronischen Systemen werden die Interaktionen von Servicetechnikern und Kunden verändern und teilweise substituiert [BH17, S. 6]. Die folgenden Beispiele illustrieren diese Entwicklung.

Softwareupdates können automatisiert und aus der Ferne ausgeführt werden, wodurch sie vollständig personal- und ortsunabhängig sind. Klassische Remoteservices sind bisher nur ortsunabhängig und werden im Maschinen- und Anlagenbau angewendet aufgrund hoher Ausfallkosten und exportorientiertem Geschäft: Servicetechniker leiten Mitarbeiter des Kunden an und können aus der Ferne durch eine Internetschnittstelle auf die Steuerung von Maschinen zugreifen. Diagnose, Wartung und Reparatur können ohne Servicetechniker vor Ort durchgeführt werden, und damit die Ausfallzeiten der Systeme und Reisekosten für Servicetechniker minimiert werden [BPM04, S. 101]. Die Technologie Augmented Reality bietet hierfür zusätzliches Potential, um Kunden und fremde Servicetechniker anzuleiten [PH17, S. 9].

Veränderte Kundeninteraktion

WÜNDERLICH et al. unterscheiden Smart Services hinsichtlich von Zielgruppen und beschreiben ein veränderte Kundeninteraktion. Ein Service kann auf einen individuellen Nutzer bezogen sein (z.B. Gesundheitsmonitoring), auf eine Gruppe von Nutzern (z.B. Smart Home Anwendungen für eine Familie) oder auf ein Unternehmen (z.B. Condition Monitoring für eine Maschine) [WHO+15, S. 443]. Ein weiteres Charakteristikum ist der Anteil an Aktivitäten bei der Serviceerbringung. Bild 2-19 zeigt eine Kategorisierung von Smart Services nach Aktivitätslevel von Nutzer und Anbieter [WWB12, S. 5].

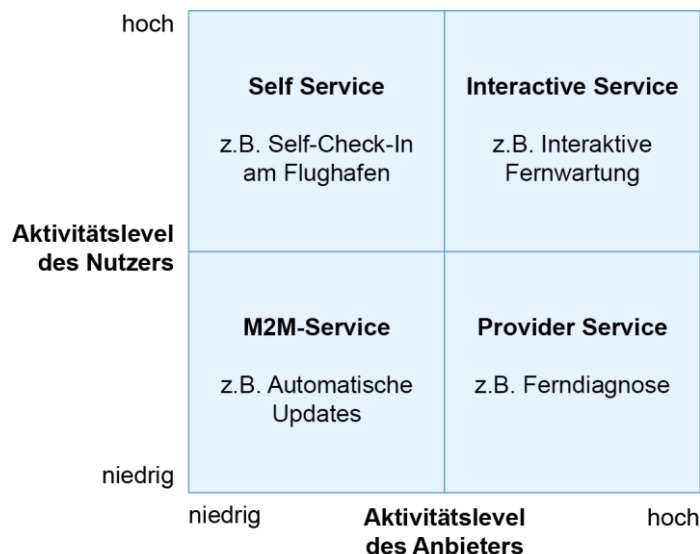


Bild 2-19: Smart Service Interactivity Matrix nach WÜNDERLICH et al. [WWB12, S. 5]

M2M-Services (Machine to Machine) werden im Hintergrund mit wenig Aktivitäten von Kunde und Anbieter erbracht, wodurch sie zeit- und personalunabhängig sind. Provider Services werden im Hintergrund vom Anbieter erbracht; der Kunde sieht nur das Ergebnis. Bei Self Services und Interactive Services ist der Kunde in die Serviceerbringung eingebunden, wodurch eine stärkere Interaktion mit dem Kunden erforderlich ist [WWB12, S. 5]. Bei Smart Services verliert der Standort des Kunden an Bedeutung, aber gleichzeitig findet eine dauerhafte, digitale Kundeninteraktion statt [FG02, S. 85].

Die Kundeninteraktion stellt bei Smart Services ein Nutzenpotential dar, da Anbieter dem Kunden personalintensive Aktivitäten um das Produkt übertragen können, Anleitung und Kontrolle aber automatisiert und digital erfolgen. Bei der Konzipierung sind diese Aktivitäten mitzudenken, aber gleichzeitig sicherzustellen, dass der Kunde fähig und motiviert ist, die Aktivitäten korrekt und in hoher Qualität auszuführen.

Nutzung von Daten

Der Begriff Smart Services wurde erstmalig von ALLMENDINGER/LOMBREGLIA eingeführt, welche damit einen neuen Dienstleistungstyp beschreiben und die Nutzung von Daten betonen [AL05, S. 5]. Der Service ist mit einem intelligenten Objekt verbunden und wird über das Objekt bereitgestellt. Die Objekte können den eigenen Zustand und

den Zustand der Umgebung aufnehmen, verarbeiten und kommunizieren. Die Services sind damit integraler Bestandteil eines Produkts und gehen über produktbegleitende Dienstleistungen hinaus. Der Wert für den Nutzer besteht grundsätzlich in der Vermeidung unangenehmer Situationen durch Informationen. Bild 2-20 zeigt sieben von ALLMENDINGER/LOMBREGLIA definierte Ausprägungen von Smart Services.

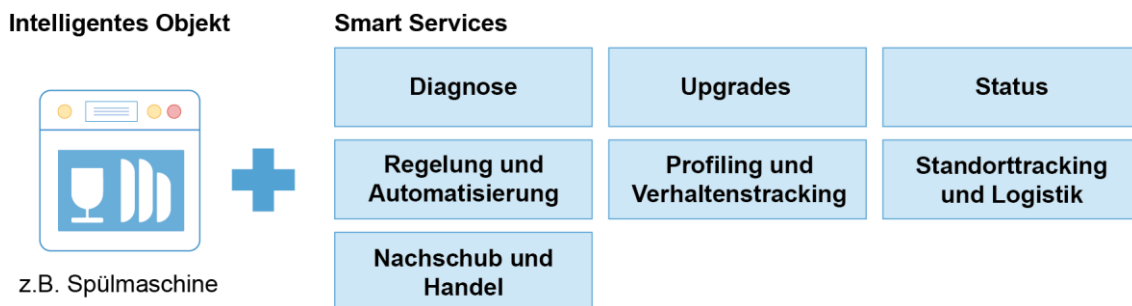


Bild 2-20: Smart Service-Ausprägungen nach ALLMENDINGER/LOMBREGLIA [AL05, S. 2]

Auf Basis der Vernetzung von Produkten bzw. Objekten entstehen Daten, auf denen Smart Services basieren. KAGERMANN et al. beschreiben eine Kausalkette: Vernetzte Produkte erzeugen während des Betriebs große Mengen an Daten (Big Data). Die Daten werden analysiert, interpretiert, verknüpft und ergänzt, wodurch die Daten veredelt und zu Informationen werden (Smart Data). Die Informationen können individuell gebündelt und Kunden in Form eines Smart Service angeboten werden [KRH+15, S. 14].

BULLINGER et al. sehen durch den Einsatz von Sensorik und die Vernetzung von Produkten keinen Mehrwert für den Kunden, sondern erst durch die Bündelung der gesammelten und analysierten Daten in einem Smart Service [BGN17, S. 99]. Aufgrund dessen wird auch der Begriff data-driven bzw. daten-basierte Services genutzt, welcher den Aspekt der Datenanalyse betont [LSB+15, S. 47]. KAMKER et al. zeigen sechs Charakteristika von Smart Services, welche sich durch die Nutzung von Daten ergeben [KJF17, S. 9]:

- **Aggregation:** Große, heterogene Datenmengen werden aggregiert und aus der Masse an Daten wertvolle Inhalte extrahiert – von Big Data zu Smart Data.
- **Nutzerzentrierung:** Nutzungsdaten ermöglichen Schlüsse auf Kundenbedürfnisse und dadurch die Konzipierung maßgeschneiderter Angebote für jeden Kunden.
- **Prognostizierbarkeit:** Proaktiv können alternative Zukunftsszenarien vorhergesagt werden, welche als Entscheidungsgrundlage für weitere Aktivitäten dienen.
- **Agilität:** Durch den hohen Softwareanteil und Cloud-Computing können Services schnell und flexibel an sich wandelnde Rahmenbedingungen angepasst werden.
- **Skalierbarkeit:** Aufgrund des hohen Softwareanteils, können Services schnell und zu geringen Grenzkosten skaliert werden.
- **Disruption:** Aufgrund der geringen Grenzkosten und schnellen Skalierbarkeit können etablierte Anbieter schnell aus dem Markt gedrängt werden.

2.4.2 Veränderung von Geschäftsmodellen und Wettbewerb

Smart Services ermöglichen durch ihre Charakteristika *neue Geschäftsmodelle*, welche von der dominanten Branchenlogik im produzierenden Gewerbe abweichen. Dies hat *Veränderungen des Wettbewerbs* im produzierenden Gewerbe zur Folge.

Geschäftsmodelle für Smart Services

Auf Basis der Daten von physischen Produkten ergeben sich Möglichkeiten für neue Geschäftsmodelle, welche als digitale, datengetriebene oder serviceorientierte Geschäftsmodelle bezeichnet werden [KRH+15, S. 15], [KJF17, S. 6], [PH14, S. 13].

Für Unternehmen im produzierenden Gewerbe bedeuten die neuen Geschäftsmodelle eine Veränderung der dominanten Branchenlogik, welche sich in der Regel durch den Verkauf von physischen Produkten auszeichnet. Im Fokus der Veränderung steht das Erlös-konzept als Teil des Geschäftsmodells [BH17, S. 7], [Sim17, S. 266]. Die dominante Branchenlogik ist die vorherrschende Konfiguration von Geschäftsmodellkomponenten (wie z.B. dem Erlös-konzept), die sich in einer Branche etabliert hat [Ams16, S. 21]. Geschäftsmodellinnovationen zeichnen sich dadurch aus, dass sie von der vorherrschenden Branchenlogik abweichen und Ideen außerhalb des etablierten Denkschemas beinhalten [GFC13, S. 12].

Geschäftsmodellmuster sind eine vielversprechende Methode zur Entwicklung von Geschäftsmodellen [GFC13, S. 73], [GWE+17, S. 29]. Die Muster sind Bausteine bewährter Geschäftsmodelle und können auf andere Branchen übertragen und kombiniert werden. Eine Untersuchung der Auswirkungen des Internet der Dinge auf die Geschäftsmodellmuster nach GASSMANN [GFC13, S. 73] kommt zu dem Ergebnis, dass Smart Services an sich ein Geschäftsmodellmuster sind [FWW17, S. 11]: Physische Produkte werden durch digitale, sensor-basierte Services ergänzt und als Digitally Charged Products bezeichnet. Folgende Geschäftsmodellmuster werden auf Basis von Smart Services darüber hinaus ermöglicht [FWW17, S. 9]:

- **Physical Freemium:** Ein physisches Produkt wird mit kostenfreien, digitalen Services verkauft (z.B. digitale Montage- oder Wartungsanleitungen). Kunden können nach dem Kauf zusätzliche, kostenpflichtige Services erwerben, welche das Produkt weiter ergänzen (z.B. eine Fernüberwachung).
- **Razor & Blade und Lock-in:** Ein physisches Produkt wird kostengünstig und mit geringer Marge verkauft. Der Kunde kann oder muss margenstärkere Services erwerben (Razor & Blade). Eine beabsichtigte Inkompatibilität (Lock-in) kann den Kunden an einen Anbieter binden (z.B. regelmäßige Software-Updates).
- **Object Self Service:** Physische Produkte können selbstständig Bestellungen von Verbrauchsmitteln oder Ersatzteilen auslösen. Drittanbieter und Intermediäre können umgangen werden und der Bezug erfolgt direkt beim Hersteller des Produkts (z.B. die automatische Nachbestellung von Waschmittel durch eine Waschmaschine).

- **Pay-per-use für geringer wertige Produkte:** Ein Betreibermodell mit einer Bezahlung pro Nutzung ist durch günstigere Vernetzung und Datenanalyse auch für geringer wertige Produkte anwendbar (z.B. eine Waschmaschine). Das Produkt kann aus der Ferne überwacht werden und Verbrauchsmittel automatisch nachbestellen.
- **Sensor-as-a-Service:** Statt an mechatronischen Produkten, können Sensoren an Objekten Daten erzeugen. Die erzeugten Daten können ohne Verarbeitung verkauft werden (z.B. Sensoren an Parkplätzen, deren Daten an einen Anbieter eines Service zur Parkplatzsuche verkauft wird).

Die Veränderung der Geschäftsmodelle kann grundsätzlich aus zwei Stoßrichtungen betrachtet werden – von der Weiterentwicklung des Systems (Technology Push) oder der Veränderungen des Geschäftsmodells (Market Pull). Bild 2-21 zeigt die Stoßrichtungen, welche im Folgenden beschrieben werden.

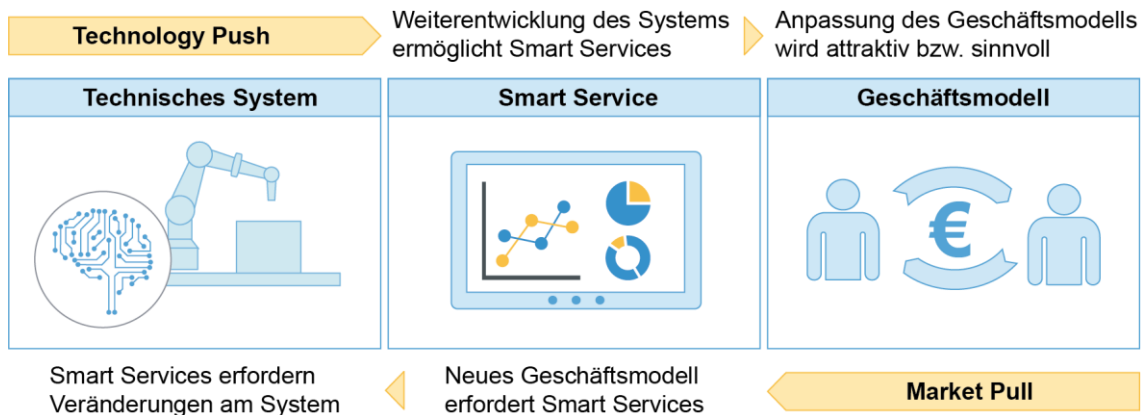


Bild 2-21: Stoßrichtungen zur Veränderung des Geschäftsmodells mit Smart Services

Auf der einen Seite ermöglicht die Weiterentwicklung der Systeme die Ergänzung eines bestehenden Produkts mit Smart Services. Eine Anpassung der Geschäftsmodelle ist dann attraktiv oder sinnvoll. Auf der anderen Seite kann ein verändertes Geschäftsmodell angestrebt werden. Dann können Smart Services zu dessen Umsetzung erforderlich sein, welche wiederum Veränderungen am technischen System erfordern. Zusammenfassend erfolgt die Veränderung der Branchenlogik im produzierenden Gewerbe durch zwei grundsätzliche Varianten mit unterschiedlichen Ausprägungen:

Digital Add-on: Smart Services können bestehende physische Produkte erweitern und bieten aufgrund der digitalen Beschaffenheit und geringen Grenzkosten mehr Gestaltungsmöglichkeiten für neue Erlösconzepte, wie z.B. die monatliche Bereitstellung durch Pauschalpreise [BH17, S. 7], [Sim17, S. 266].

Product-as-a-Service: Smart Services ermöglichen die einfache Bündelung von Produkten mit physischen und digitalen Services, sowie eine bessere Überwachung der Produkte im Feld. Die Services können durch den Anbieter selbst genutzt werden, um das Produkt günstiger zu betreiben (z.B. durch vorausschauende und bedarfsgerechte Wartung) und die Nutzung des Produkts als Service anbieten.

Veränderungen im Wettbewerb

Mit Veränderung der Geschäftsmodelle gehen Veränderungen im Wettbewerb einher, welche ebenfalls relevant für die Konzipierung von Smart Services sind. Bild 2-22 zeigt das 5-Forces-Modell zur Wettbewerbsanalyse [Por13, S. 38] mit Auswirkungen von Smart Services auf das produzierende Gewerbe [PH14, S. 10], [MSG+17, S. 43].

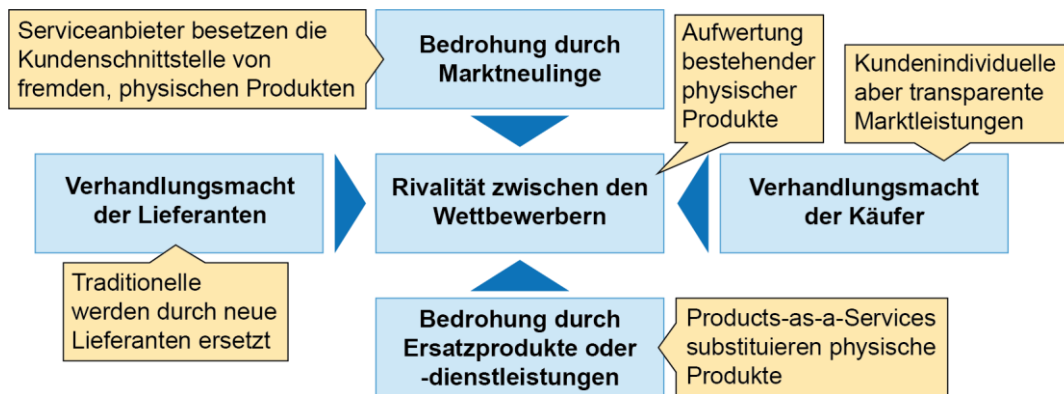


Bild 2-22: 5-Forces-Modell mit Auswirkungen von Smart Services auf den Wettbewerb im produzierenden Gewerbe [PH14, S. 10], [MSG+17, S. 43]

Verhandlungsmacht der Käufer: Smart Services ermöglichen eine Differenzierung und Individualisierung, wodurch der Preis als Wettbewerbsfaktor an Bedeutung verliert. Durch Nutzungsdaten können Marktleistungen kundenindividuell abstimmt werden, wodurch die Kundenbindung gestärkt wird. Kunden erhalten durch die Datenanalyse jedoch ebenfalls mehr Transparenz (z.B. über Nutzungsintensität oder Energieverbrauch) und können Marktleistungen besser vergleichen.

Rivalität zwischen Wettbewerbern: Unternehmen können das Nutzenversprechen eines physischen Produkts mit Smart Services erweitern und sich damit von bestehenden Wettbewerbern mit ähnlichem physischen Produkt differenzieren. Die gleichen Möglichkeiten besitzen jedoch auch die Wettbewerber, wodurch es zu einem Wetttrüben kommen kann.

Bedrohung durch Marktneulinge: Eine besondere Bedrohung stellen neue Marktteilnehmer dar, welche Smart Services auf Basis von Produkten Dritter anbieten, ohne diese herzustellen oder zu besitzen. Die Marktneulinge können die Kundenschnittstelle des Herstellers eines Produkts besetzen und Gewinne abschöpfen.

Bedrohung durch Ersatzprodukte und -dienstleistungen: Mithilfe von Smart Services können physische Produkte einfacher geteilt und als Service angeboten werden. Product-as-a-Service-Modelle verringern die Gesamtnachfrage für physische Produkte durch deren effizientere Nutzung.

Verhandlungsmacht der Lieferanten: Der Anteil traditioneller Lieferanten nimmt ab, da physische Komponenten teilweise durch Software ersetzt werden können. Dafür nimmt der Anteil neuer Lieferanten zu, welche Sensoren, IT-Infrastrukturen oder Datenanalyse-Dienstleistungen anbieten.

2.4.3 Architektur der Wertschöpfung auf Plattformen

Die Wertschöpfung von Smart Services erfolgt durch die Bündelung von Produkten, Services und Daten auf Plattformen. Smart Service-Plattformen müssen grundlegende *Eigenschaften und Rollen* abbilden. Die Realisierung dieser Eigenschaften wird durch eine *Architektur* erreicht, welche aus mehreren Schichten besteht. Wichtige Schichten sind die *software-definierte Plattform* und *Serviceplattform*.

Eigenschaften und Rollen

Zur Umsetzung der Grundidee von Smart Services müssen Plattformarchitekturen drei wesentliche Eigenschaften besitzen [KRH+15, S. 16]:

- 1) **Digitales Ökosystem und Marktplätze:** Die technische Bereitstellung von Daten und Services sowie deren Bündelung und Handel müssen an einer zentralen Stelle erfolgen können. Die Plattformarchitektur muss somit technische und betriebswirtschaftliche Funktionen erfüllen [KRH+15, S. 76].
- 2) **Bezahlungsfunktion:** Der Handel der Leistungen erfolgt zwischen Anbietern und Endkunden sowie zwischen Anbietern untereinander und Intermediären. Eine Bezahlungsfunktion muss den einfachen Austausch der Leistungen ermöglichen und unterschiedliche Erlösmodelle abdecken [KRH+15, S. 82].
- 3) **Digitale Identität:** Akteure auf einer Plattform müssen eindeutig identifiziert und Rollen zugeordnet werden können. Akteure können Personen und Objekte sein, welche durch Rollen unterschiedliche Rechte für den Zugriff und die Nutzung von Services auf der Plattform erhalten [KRH+15, S. 87].

Die genannten Eigenschaften beziehen sich auf offene, unternehmensübergreifende Plattformen, auf denen hersteller- bzw. anbieterübergreifend Produkte, Smart Services und Daten individuell kombiniert und angeboten werden [KRH+15, S. 12], [BGN17, S. 102]. Auf offenen Plattformen können Unternehmen unterschiedliche Rollen einnehmen und damit unterschiedliche Geschäftsmodelle realisieren (vgl. Bild 2-18, S. 33). Rollen können miteinander kombiniert und gleichzeitig eingenommen werden. Auf einer geschlossenen Plattform nehmen interne Organisationseinheiten in einem Unternehmen die Rollen ein. Folgende Rollen können eingenommen werden [EPR17, S. 25]:

- **Eigentümer:** Unternehmen stellen als Eigentümer die Infrastruktur für eine Plattform bereit (software-definierte Plattform) oder bieten Geschäftsfunktionen und die Organisation des Ökosystems an (Serviceplattform). Der Eigentümer entscheidet über die Offenheit und kann Gebühren für Zugang oder Transaktionen erheben.
- **Anbieter einer Schnittstelle:** Produzierende Unternehmen werden Anbieter einer Schnittstelle, wenn sich deren physische Produkte mit einer Plattform verbinden können. Die technischen Voraussetzungen können jedoch auch durch andere Unternehmen durch Retrofitting bestehender Produkte geschaffen werden.

- **Produzenten:** Unternehmen können Smart Services, Daten oder einzelne Bausteine auf der Plattform anbieten. Produzenten können auch als Intermediär Bausteine und Daten zu Services kombinieren, ohne zugrundeliegende physische Produkte herzustellen oder zu besitzen.
- **Konsumenten:** Nachfrager und Anwender von Smart Services, Daten oder einzelnen Bausteinen sind Konsumenten. Ein Intermediär ist Konsument und Produzent zugleich durch die Kombination und den Weiterverkauf der Services.

Architektur von Smart Service Plattformen

Architekturansätze für Smart Services sind geprägt von einer Sicht auf Erbringung, Bündelung und Handel der Services über digitale Plattformen, wodurch technische als auch betriebswirtschaftliche Aspekte abgebildet werden müssen. Im weiteren Sinne handelt es sich um Software, welche der Entwicklung und Bereitstellung weiterer Software dient. Im engeren Sinne handelt es sich um Software, welche die Realisierung unterschiedlicher Rollen und Geschäftsmodelle auf Plattformen unterstützt [EPR17, S. 21].

Bild 2-23 zeigt den Ansatz des Schichtenmodells digitaler Infrastrukturen der Studie Smart Service Welt. Es handelt sich um eine verbreitete Referenzarchitektur für Smart Service Plattformen [EPR17, S. 21], [KRH+15, S. 17].

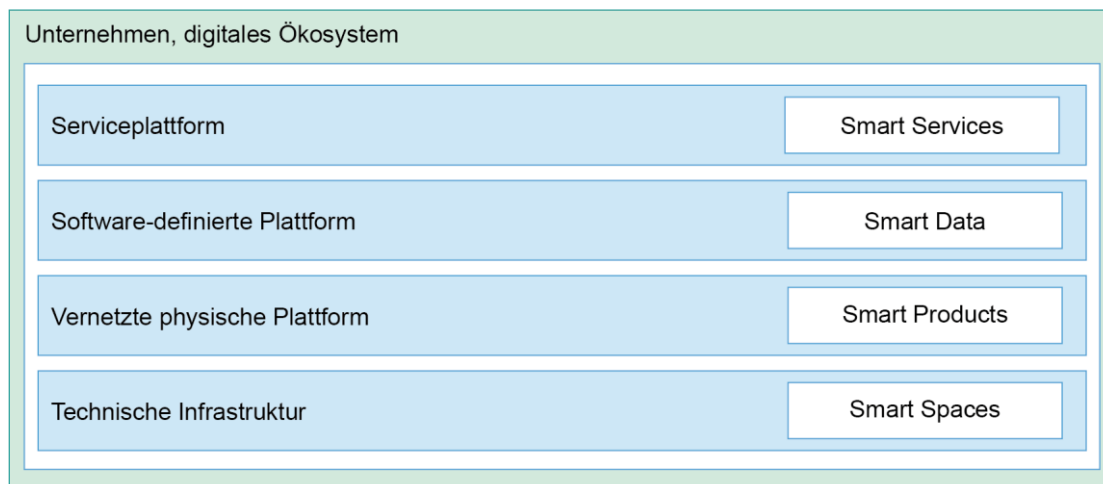


Bild 2-23: Schichtenmodell digitaler Infrastrukturen [KRH+15, S. 17]

Technische Infrastruktur (Smart Space): Die Vernetzung von Gegenständen, Geräten und Maschinen bildet die Basis und muss in einer entsprechenden Umgebung erfolgen, welche als Smart Space bezeichnet wird. Es ist ein leistungsfähiges Breitbandnetz sowie eine Datenintegration notwendig, um Systeme miteinander zu verbinden. Im produzierenden Gewerbe müssen Daten des Office Floor (IT, Information Technology) und des Shop Floor (OT, Operational Technology) integriert werden [EPR17, S. 40].

Vernetzte physische Ebene (Smart Products): In Anlehnung an das Konzept des Internet der Dinge, werden unter Smart Products Systeme zusammengefasst, welche Sensoren, Mikroprozessoren, Software und Kommunikationsmodule besitzen. Die Systeme können Daten bezüglich ihres eigenen Zustands und ihrer Umgebung erfassen und bereitstellen, wodurch Informationen über ihre Herstellungs- und Nutzungsgeschichte gesammelt werden [KRH+15, S. 17], [BGN17, S. 101].

Software-definierte Plattform: Die gesammelten Daten der Systeme werden auf einer software-definierten Plattform zusammengeführt und um Daten aus externen Quellen ergänzt, wie z.B. Wetterdaten oder Energiepreise [PH15, S. 10]. Da auf der software-definierten Plattform die Bindung zu den physischen Produkten gelöst wird, können Daten von Systemen unterschiedlicher Hersteller und Eigentümer zusammengeführt werden [BGN17, S. 101]. Darüber hinaus kann die Verknüpfung und Verarbeitung der Daten durch Unternehmen erfolgen, welche nicht Hersteller oder Eigentümer der Systeme sind. Methoden zur Datenanalyse ermöglichen die Erzeugung von Informationen, welche dann als Smart Data bezeichnet werden [KRH+15, S. 17].

Serviceplattform: Auf der obersten Ebene ist eine IT-Plattform notwendig, welche die Akteure innerhalb eines Unternehmens (geschlossene Plattform) oder zu einem Ökosystem (offene Plattform) vernetzt. Die Serviceplattform muss die Entwicklung, den Handel und die Erbringung der Services ermöglichen [KRH+15, S. 84]. Wesentliche Anforderung ist die flexible Kombination von physischen und digitalen Produkten und Services zu kundenindividuellen Bündeln [BGN17, S. 102]. Auf offenen Plattformen muss eine produzentenübergreifende Bündelung möglich sein, wozu Regeln, Standards, Prozesse und Schnittstellen nötig sind.

Tabelle 2-1 zeigt eine Abgrenzung zwischen den Konzepten software-definierte Plattform und Serviceplattform. Die Praxisbeispiele beschreiben den Schwerpunkt des Angebots der Unternehmen. Aus technischer Sicht benötigen Serviceplattformen auch immer eine darunterliegende software-definierte Plattform.

Tabelle 2-1: Abgrenzung zwischen software-definierter Plattform und Serviceplattform in Anlehnung an Kagermann et al. [KRH+15, S. 80]

Kriterium	Software-definierte Plattform	Serviceplattform
Art der Abstraktionsebene	technisch	betriebswirtschaftlich
Zweck	Sammeln, Integrieren und Verarbeiten von Daten	Abbilden der Geschäftslogik zwischen den Akteuren
Zielgruppe	Anbieter von IT-Plattformen, Hersteller physischer Produkte, Softwareentwickler	Produzenten und Konsumenten von Smart Services, Intermediäre, Hersteller physischer Produkte
Notwendiges Fachwissen	Wissen über Vernetzung von physischen Produkten, Datenintegration- und -analyse	Wissen über Geschäftsmodelle, Ablauf-/Aufbauorganisation und Geschäfts-/Fertigungsprozesse
Beispiel	Microsoft Azure	Siemens Mind Sphere 365FarmNet (offen), Thyssen Krupp MAX (geschlossen)

2.5 Interdisziplinäre Entwicklung von Marktleistungen

Die vorangegangenen Abschnitte haben gezeigt, welche Entwicklungsperspektiven sich für mechatronische Systeme und Smart Services als Marktleistungen ergeben. Es wird deutlich, dass ein Smart Service-Konzept Hardware, Software, Datenanalyse und Erlös-konzepte abbilden muss [KJF17, S. 6].

Abschnitt 2.5.1 zeigt den Produktentstehungsprozess nach GAUSEMEIER, an dem sich die Systematik der vorliegenden Arbeit orientiert. Abschnitt 2.5.2 geht auf Methoden des Systems Engineering ein, welche zukünftig eine wesentliche Rolle in der Produktentwicklung spielen und in der zu entwickelnden Systematik genutzt werden sollen. In Abschnitt 2.5.3 wird der Forschungsbereich zur Entwicklung von Produkt-Service Systemen beschrieben, um relevante Vorarbeiten zu identifizieren.

2.5.1 Produktentstehungsprozess nach GAUSEMEIER

Die zu entwickelnde Systematik der vorliegenden Arbeit wird in den Produktentstehungsprozess nach GAUSEMEIER eingeordnet, um den Anwendungsbereich zu verdeutlichen. Der Prozess erstreckt sich von der ersten Geschäftsidee bis zum Serienanlauf. Das Referenzmodell zur strategischen Planung und integrativen Entwicklung von Marktleistungen bildet diesen Prozess ab (Bild 2-24).

Strategische Produktplanung

Der Zyklus beschreibt das Vorgehen vom Finden zukünftiger Erfolgspotentiale bis zu Erfolg versprechenden Konzepten für Produkte und Dienstleistungen. Die Potentialfindung meint das Erkennen von Erfolgspotentialen der Zukunft, wozu Methoden wie die Szenario-Technik oder Trendanalysen zum Einsatz kommen. Die Phase der Produktfindung basiert auf den identifizierten Erfolgspotentialen und schließt das Finden von Dienstleistungsideen mit ein. Die Geschäftsplanung dient der Erstellung einer Geschäfts- und Produktstrategie sowie der Entwicklung eines tragfähigen Geschäftsmodells für die zukünftige Marktleistung. Die Zyklen zur Entwicklung von Produkt, Dienstleistung und Produktionssystem sind durch die Phasen der Konzipierung mit der Produktplanung verbunden. Das Referenzmodell sieht eine bereichsübergreifende Zusammenarbeit in der frühen Phase der Produktentstehung vor [GP14, S. 26], [GAD+14, S. 11].

Konzipierung von Produkt, Dienstleistung und Produktionssystem

Die drei Zyklen zur Entwicklung von Produkt, Dienstleistung und Produktionssystem beginnen jeweils mit einer Konzipierungsphase, um den strategiekonformen Übergang in Detailentwicklung der Marktleistung zu ermöglichen. Ausgehend vom Produktkonzept erfolgt der Entwurf und die Ausarbeitung in den einzelnen Fachdisziplinen, welche zur Entwicklung mechatronischer Systeme notwendig ist: Mechanik, Regelungstechnik, Elektronik und Softwaretechnik. Eine anschließende Integrationsphase sieht eine Absicherung der Gesamtfunktionalität des Systems durch Validierung und Verifizierung vor.

Die Produktionssystementwicklung erfolgt im Wechselspiel mit der Produktentwicklung, um die Möglichkeiten der Gestaltung eines leistungsfähigen und kostengünstigen Erzeugnisses auszuschöpfen [GLL12, S. 15], [GP14, S. 26].

Von der Geschäftsidee...

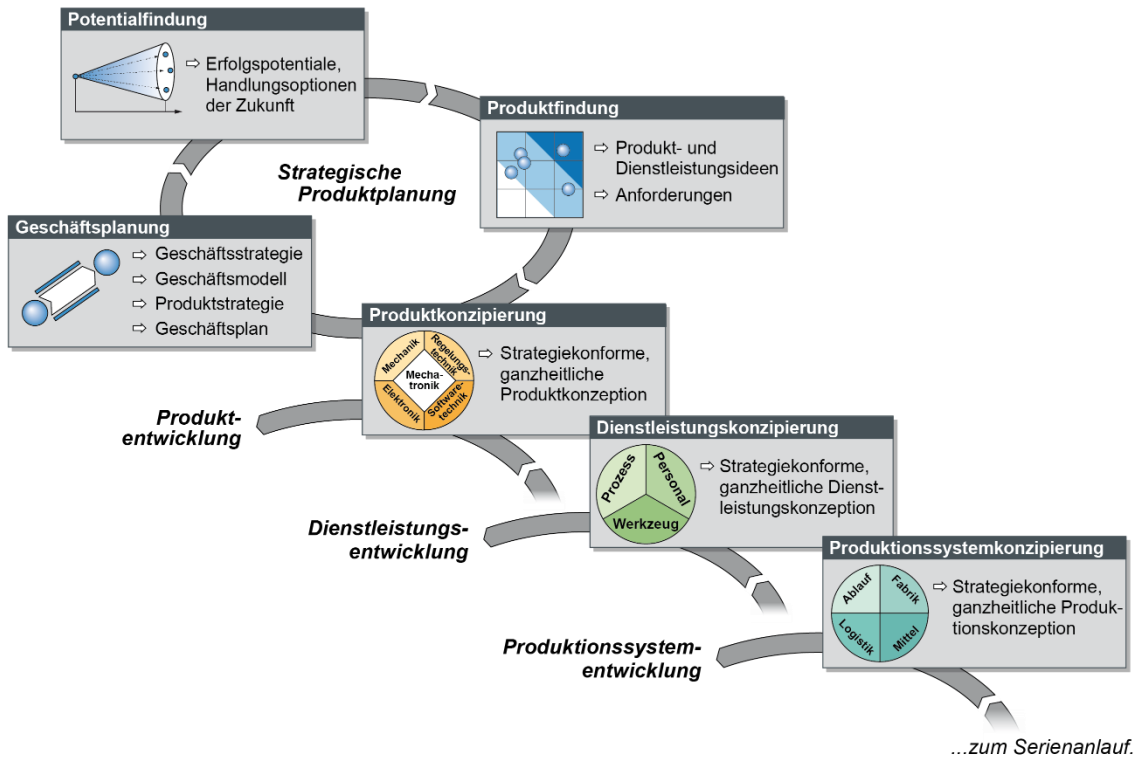


Bild 2-24: Referenzmodell der strategischen Planung und integrativen Entwicklung von Marktleistungen [GAD+14, S. 15]

Dienstleistungskonzipierung

Ziel der Dienstleistungskonzipierung ist die Umsetzung einer Dienstleistungsidee in eine Marktleistung. Bild 2-25 zeigt den Zyklus der Dienstleistungsentwicklung im beschriebenen Produktentstehungsprozess nach GAUSEMEIER.

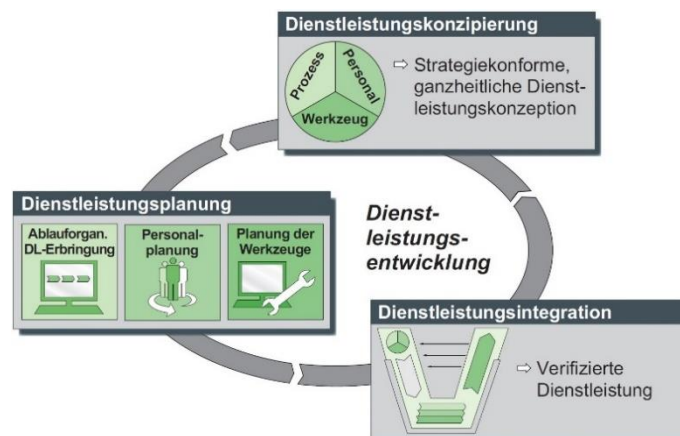


Bild 2-25: Zyklus der Dienstleistungsentwicklung nach GAUSEMEIER [GAD+14, S. 13]

In der Konzipierung soll eine integrative Spezifizierung der Aspekte Prozess, Personal und Werkzeuge erfolgen. Eine Dienstleistung ist das Ergebnis eines Prozesses, welcher durch beteiligtes Personal unter Nutzung von Werkzeugen abgebildet werden muss. Die Dienstleistungsplanung umfasst die Aspekte Ablauforganisation der Dienstleistungserbringung, Personal- und Werkzeugplanung. Die geplanten Prozesse müssen in der Ablauforganisation eines Unternehmens verortet werden. In der Dienstleistungsintegration ist ein Dienstleistungs-Designreview zur Verifizierung vorgesehen [GAD+14, S. 13].

Die in der vorliegenden Arbeit zu entwickelnde Systematik ist am Übergang vom Zyklus der strategischen Planung zur Produkt- und Dienstleistungskonzipierung anzuordnen. Der Produktentstehungsprozess ist ein geeignetes Rahmenwerk durch die Vernetzung der strategischen Produktplanung mit der Entwicklung von Produkten und Dienstleistungen. Das Marktleistungskonzept Smart Services erfordert eine integrierte Betrachtung des mechatronischen Systems als Produkt, der Datenanalyse und Geschäftsprozesse als Dienstleistung und des Erlöskonzepts als Teil der Geschäfts- und Produktplanung.

2.5.2 Systems Engineering für mechatronische Systeme

Systems Engineering (SE) zeichnet sich als ein Erfolg versprechender Ansatz ab, um komplexe, technische Systeme zu entwickeln [DTB17, S. 1]. Die *Grundlagen des Systems Engineering* liegen in der Lösung komplexer Probleme durch Systemdenken. *Model-based Systems Engineering* ist eine Möglichkeit der Anwendung von SE in der Praxis.

Grundlagen des Systems Engineering

Durch die zunehmende Komplexität technischer Systeme und deren Entwicklung, zeichnet sich System Engineering als Erfolg versprechender Rahmen ab für neue Vorgehen und Methoden der Produktentwicklung [Hit07, S. 91], [GDS+14, S. 56ff]. Im Fokus steht die interdisziplinäre Entwicklung von Systemen über den gesamten Produktlebenszyklus [INC15, S. 11]. Einen geeigneten Ansatz zur Erklärung liefern HABERFELLNER et al. mit einer Einteilung von Systems Engineering in die zwei Bereiche Philosophie und Problemlösungsprozess. Bild 2-26 zeigt das Konzept in der Übersicht, dessen Bestandteile im Folgenden beschrieben werden.

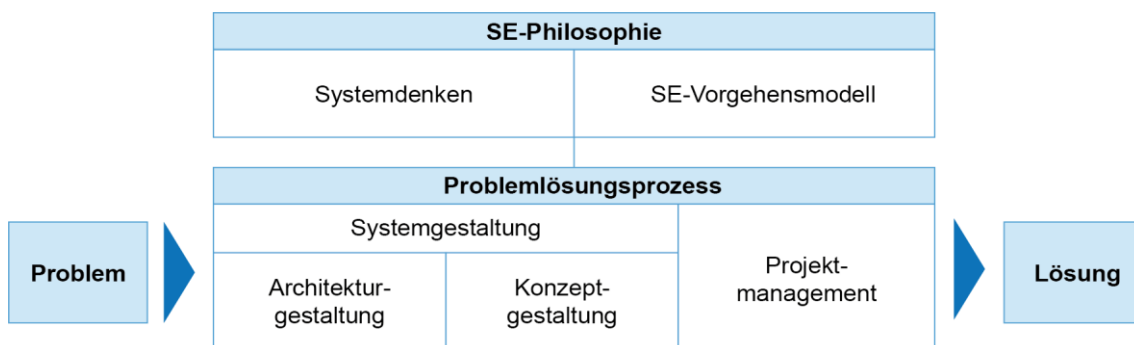


Bild 2-26: Systems Engineering-Konzept nach HABERFELLNER et al. [HWF+12, S. 28f]

SE-Philosophie: Systemdenken liefert Denkansätze, um komplexe Systeme in einzelne Elemente aufzuteilen, Beziehungen zwischen Elementen zu definieren und Ebenen als Hierarchisierung zu nutzen. Aspekte sind ein Ansatz, um eine Systembetrachtung durch verschiedene Filter zu ermöglichen: Es werden nur bestimmte Elemente, Beziehungen und Eigenschaften eines Systems abgebildet, welche für einen Sachverhalt notwendig sind [HWF+12, S. 39ff]. Das Vorgehensmodell beschreibt eine generische Herangehensweise zur Problemlösung unter Berücksichtigung von vier Grundideen: Vorgehen vom Groben zum Detail, Denken in Varianten, Gliederung eines Vorgehens in Phasen und die Anwendung eines Problemlösungszyklus als Arbeitslogik [HWF+12, S. 57ff].

Problemlösungsprozess: Die Systemgestaltung teilt sich in Architektur- und Konzeptgestaltung. Die Architektur soll als Lösungsprinzip verstanden werden und Funktionen eines Systems beschreiben, d.h. was es tut und wie es Nutzen erzeugt. Eine Systemarchitektur beinhaltet die Allokation von Funktionen auf Elemente, Anordnung der Elemente in einer Struktur und die Definition von Schnittstellen zwischen Elementen und zur Systemumwelt [HWF+12, S. 183f]. Die Konzeptgestaltung beinhaltet die Konkretisierung einer ausgewählten Architektur. Zur Architektur- und Konzeptgestaltung wird ein Problemlösungszyklus in drei Schritten vorgeschlagen: Zielsuche (Situationsanalyse und Zielformulierung), Lösungssuche (Analyse und Synthese) und Auswahl (Bewertung und Entscheidung) [HWF+12, S. 195f]. Das Projektmanagement beschreibt das Management des Problemlösungsprozesses, wie z.B. Planung unterschiedlicher Ressourcen oder Organisation der Informationsflüsse und Entscheidungsprozesse [HWF+12, S. 165ff].

Model-based Systems Engineering (MBSE)

Die Anwendung von Systems Engineering kann durch Methoden und Werkzeuge erfolgen, welche unter dem Ansatz des Model-based Systems Engineering zusammengefasst werden. Der Ansatz soll ein dokumentenbasiertes durch ein modellbasiertes Vorgehen in der Entwicklung ersetzen [FMS12, S. 16f]. Ein sog. Systemmodell bildet den Mittelpunkt der Entwicklung und ist Verständigungsmittel zwischen Entwicklern verschiedener Fachdisziplinen [GDS+14, S. 36]. Die Vision ist ein übergeordnetes Systemmodell als Rückgrat der Entwicklung, welches jegliche Aspekte eines Systems abbildet und Schnittstellen zu anderen Modellen aus einzelnen Fachdisziplinen besitzt (z.B. Mechanik, Regelungstechnik und Softwaretechnik) [INC14, S. 38].

Die Nutzung eines Systemmodells erfordert eine abgestimmte Kombination aus Modellierungssprache, Vorgehensmethode zur Nutzung der Sprache und Softwarewerkzeug zur digitalen Abbildung des Modells. Modellierungssprachen nutzen überwiegend Diagramme als grafische Notation. Der Vorteil der visuellen Repräsentation mit Diagrammen liegt in einer einfacheren Erstellung und Bearbeitung sowie besserem Verständnis der Modelle [Kai14, S. 26ff]. Verbreitete Sprachen sind SysML [Alt12], [FMS12], [WS14] und CONSENS [GLL12, S. 89ff]. Darüber hinaus werden Sprachen an spezifische Bedürfnisse angepasst und als Dialekte bezeichnet [Tsc16, S. 32].

Die Nutzung eines Systemmodells zeichnet sich durch zwei Charakteristika aus: Informationen werden durch Diagramme dokumentiert und die Diagramme durch Tracelinks miteinander verknüpft. Tracelinks verknüpfen die Informationen der Diagramme und ermöglichen eine Rückverfolgbarkeit von Systemzusammenhängen, um z.B. Entscheidungen besser nachzuvollziehen [Küh16, S. 40]. Bild 2-27 zeigt Diagramme und Tracelinks am Beispiel der Modellierungssprache und -methode CONSENS.

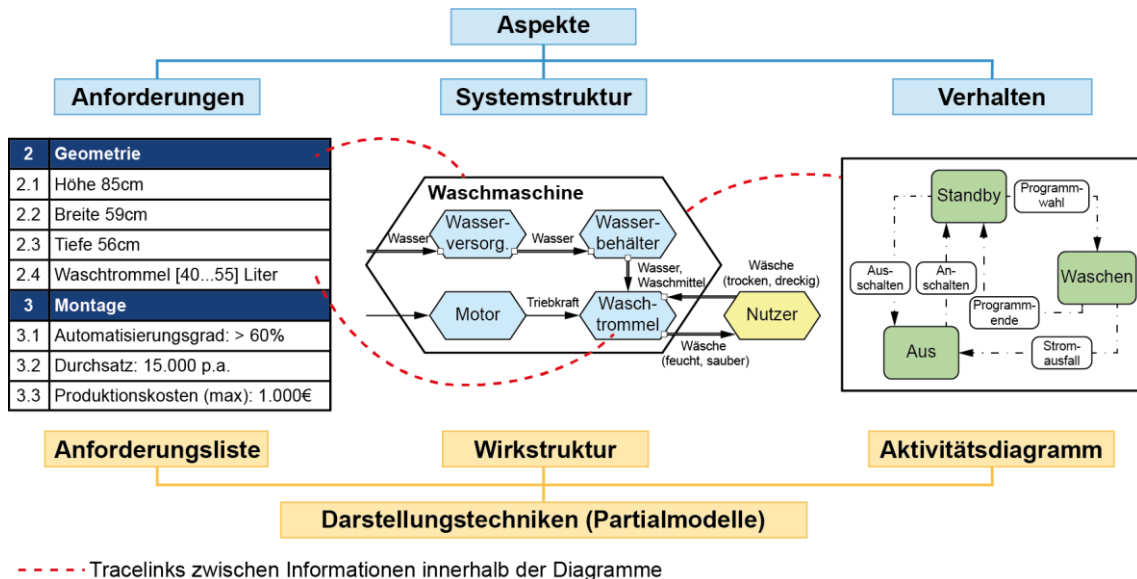


Bild 2-27: Diagramme und Tracelinks als Charakteristika des MBSE am Beispiel der Sprache und Methode CONSENS [Küh16, S. 40]

Je nach Entwicklungsgegenstand werden unterschiedliche Diagramme zur Systembeschreibung genutzt, um Entwicklungsgesichtspunkte fokussiert zu betrachten. Die Fokussierte Betrachtung erfolgt durch Aspekte, denen in einer Modellierungssprache Darstellungstechniken wie Diagramme zugeordnet werden [Kal98, S. 90ff]. Die wesentlichen Aspekte mechatronischer Systeme sind Anforderungen, Struktur, Verhalten, Gestalt und Parameter [Tsc16, S. 97]. In der Modellierungssprache CONSENS wird die Darstellungstechnik für ein Aspekt als Partialmodell bezeichnet [GLL12, S. 90f].

TSCHIRNER zeigt unterschiedliche Anwendungsszenarien für MBSE bei der Entwicklung mechatronischer Systeme: Innovationswerkstatt, Mechatronic Sketch, mechatronische Systemmodellierung und simulationsbasierte Systemanalyse. Den Szenarien werden notwendige Aspekte zugeordnet und deren Intensität der Nutzung vorgeschlagen [Tsc16, S. 106f]. Durch die Anwendungsszenarien wird verdeutlicht, dass MBSE auch zur Ideenfindung und mit einfachen (Software-) Werkzeugen genutzt werden kann.

Model-based Systems Engineering eignet sich dadurch zur Konzipierung von Smart Services: Der bisher nicht ausreichend spezifizierte Entwicklungsgegenstand kann durch ausgewählte Aspekte definiert, durch Darstellungstechniken veranschaulicht und eine Methode zur Nutzung vorgeschlagen werden.

2.5.3 Entwicklung von Produkt-Service Systemen

Einen Prozess zur integrierten Entwicklung von Produkt und Service schlagen SPATH/DEMUß vor (Bild 2-28). Das Anforderungsmanagement ist die Schnittstelle zwischen Produkt- und Dienstleistungsentwicklung, da Kunden Anforderungen an Produkt und Dienstleistung trennen, um die entsprechenden Lieferanten trennen zu können [SD06, S. 493f]. Bild 2-28 zeigt den vorgeschlagenen Entwicklungsprozess.

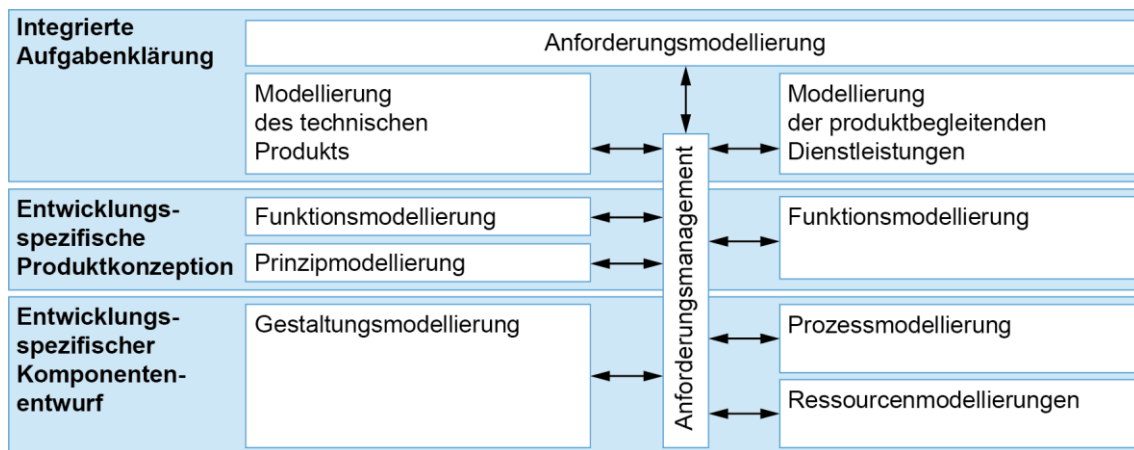


Bild 2-28: Entwicklungsprozess der integrierten Produkt- und Dienstleistungsentwicklung nach SPATH/DEMUß [SD06, S. 494]

BULLINGER/SCHAEER beschreiben eine systematische Entwicklung von Dienstleistungen, welche technische und betriebswirtschaftliche Aspekte abdecken muss [BS06, S. 4]. Die Gestaltungsdimensionen für Dienstleistungen sind Potenzial-, Prozess-, Ergebnis- und Marktdimension. Die Potentialdimension beschreibt den Input für die Prozessdimension, wie z.B. Personalressourcen und Maschinen. Die Prozessdimension stellt den Ablauf der Dienstleistungserbringung dar und die Veränderung eines Zustands wird in der Ergebnisdimension beschrieben. Die Marktdimension beinhaltet die Integration von Marktinformationen in den Entwicklungsprozess durch z.B. Simulation [BS06, S. 57ff].

VOGEL-HÄUSER et al. beschreiben die Entwicklung von Produkt-Service Systemen als eine Summe von Innovationsprozessen, welche wiederkehrenden Innovationszyklen (Verlaufsmustern) in unterschiedlichen Bereichen unterliegen (z.B. Kundenbedürfnisse, Technologien, Unternehmenswissen). Produkt-Service Systeme können unter Berücksichtigung der Zyklen analysiert, modelliert und gestaltet werden [VLR14]. Der Innovationsprozess unter Berücksichtigung des Zyklus Unternehmenswissen wird in der vorliegenden Arbeit im Stand der Technik beschrieben (vgl. Abschnitt 3.4.5)

Der SFB/Transregio 29 (Engineering hybrider Leistungsbündel) beschäftigt sich mit dynamischen Wechselwirkungen zwischen Sach- und Dienstleistungen für den Maschinen- und Anlagenbau [MKK06]. Ziel sind neue Entwicklungsmethoden zur Planung, Entwicklung, Implementierung, Erbringung und Nutzung hybrider Leistungsbündel [MU12, S. 6]. STARK/MÜLLER beschreiben den Entwicklungsprozess für hybride Leistungsbündel in Anlehnung an das V-Modell zur Entwicklung mechatronischer Systeme [SM12,

S. 48], [VDI2206, S. 29]. Eine detaillierte Betrachtung des Entwicklungsprozesses erfolgt in der vorliegenden Arbeit im Stand der Technik (vgl. Abschnitt 3.4.2).

KUHLENKÖTTER et al. zeigen mögliche Beiträge unterschiedlicher Engineering-Ansätze, welche zur Entwicklung von Smart Services⁷ genutzt werden können (Bild 2-29.) Resultierende Herausforderungen sind die Integration der unterschiedlichen Methoden und Fachdisziplinen sowie die Kombination der Logik der Ansätze [KWB+17, S. 218].

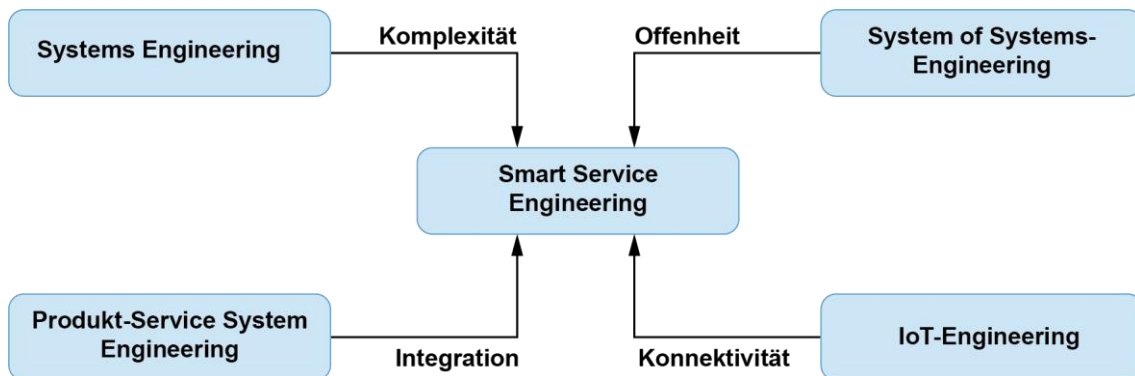


Bild 2-29: Beiträge bestehender Engineering Ansätze zum Smart Service-Engineering

ABRAMOVICI et al. leiten auf Basis einer Studie den Forschungsbedarf für das Engineering von Smart Products und Services ab. Der für die vorliegende Arbeit relevante Forschungsbedarf bezieht sich auf die Berücksichtigung und Modellierung zusätzlicher Aspekte beim Systementwurf: Geschäftsmodell, Serviceprozesse, Schnittstellen zur Systemumgebung und zentrale IT-Infrastrukturen. Darüber hinaus wird als übergreifender Forschungsbedarf die Entwicklung von Referenzmodellen und Lösungsbibliotheken zum Engineering genannt [AGS18, S. 23f].

Die Ansätze zeigen grundlegende Erkenntnisse bei der Entwicklung von Produkt-Service Systemen. Die Herausforderungen ist die Adaption und Ausprägung von geeigneten Ansätzen vor dem Hintergrund der Anforderungen von Smart Services. Die vorliegende Arbeit soll den von ABRAMOVICI et al. aufgezeigten Forschungsbedarf adressieren und ein systematisches Konzipieren mit einem Referenzmodell und einer Lösungsbibliothek ermöglichen, welche weitere Aspekte wie Geschäftsmodell, Serviceprozess und Systemumgebung berücksichtigen.

⁷ Die Autoren nutzen den Begriff Smart Product-Service Systems, welcher synonym zu Smart Services verwendet werden kann. Gleiches gilt für den Begriff Smart Objects Engineering, welcher durch IoT-Engineering ersetzt wurde.

2.6 Problemabgrenzung

Ergebnis der Problemanalyse sind *Nutzenpotentiale* von Smart Services und *Handlungsfelder* für eine Systematik zur Konzipierung von Smart Services für mechatronische Systeme. In den Handlungsfeldern können *notwendige Bestandteile* und konkrete *Anforderungen* an die Systematik verortet werden.

Nutzenpotentiale

Technische Nutzenpotentiale resultieren insbesondere aus den gezeigten Technologiekonzepten für technische Systeme (Abschnitt 2.2) sowie Smart Services als Konzept einer neuen Marktleistung (Abschnitt 2.4):

- **Sensorik und Vernetzung:** Selbst in einfachen mechatronischen Systemen erfolgt in der Regel eine Digitalisierung von Sensor- und Steuerungsdaten. Deren Interpretation führt zu Rückschlüssen auf Zustände des Systems und dessen Umgebung. Sensorik- und Vernetzungstechnologien werden günstiger, wodurch Daten auch an kostengünstigen Produkten erhoben werden können.
- **Datenanalyse:** Durch Sensorik erzeugte Daten können über internet-basierte Schnittstellen an zentrale IT-Systeme weitergegeben werden. Es können Daten vieler, vernetzter Systeme über die Zeit gesammelt und analysiert werden, um Informationen und Verhaltensmuster zu generieren. Durch zentrale IT-Systeme können rechenintensive Softwarefunktionen ausgelagert und von physischen Produkten ohne leistungsfähige interne Datenverarbeitung bereitgestellt werden.
- **Nutzerinteraktion:** Die Erbringung von Smart Services kann vielfach über die Benutzerschnittstellen erfolgen, welche durch neue und verbesserte Technologien eine multimodale und intensivere Nutzerinteraktion ermöglichen. Darüber hinaus können Nutzer durch eine intensivere Interaktion befähigt und motiviert werden, Serviceaktivitäten selbst auszuführen und Teil des Wertschöpfungssystems werden.

Die Evolution der Marktleistungen im produzierenden Gewerbe (Abschnitt 2.3) sowie die Veränderungen von Geschäftsmodell und Wettbewerb durch Smart Services (Abschnitt 2.4) führen zu zwei Nutzenpotentialen aus Sicht der Geschäftsplanung:

- **Digitales Add-on:** Der Kundennutzen bestehender Produkte kann vergleichsweise bedeutend gesteigert werden. Durch günstigere Sensorik und Konnektivität können selbst einfache mechatronische Systeme aufgewertet und um Services ergänzt werden. Unternehmen wird eine horizontale Integration ermöglicht, indem klassische Services (z.B. Wartung, Reparatur) digital unterstützt und durch neue Services (z.B. automatische Nachlieferung von Betriebsstoffen) ergänzt werden.
- **Neue Erlösmodelle:** Durch geringe Grenzkosten von Smart Services können digitale Geschäftsmodellmuster (z.B. Leverage Customer Data) angewendet und neue Erlöspotentiale erschlossen werden. Nutzungs-abhängige Erlösmodelle (z.B. Pay-per-use) ermöglichen die Monetarisierung von Erfahrungswissen und Ergebnissen von

Datenanalysen: Systeme können effektiver und effizienter für Kunden betrieben werden, indem der Anbieter Smart Services selbst nutzt (z.B. vorausschauende und bedarfsgerechte Wartung). Produktivitätsgewinne können mithilfe entsprechender Erlös-konzepte mit den Kunden geteilt werden.

Handlungsfelder

Um die vorangestellten Nutzenpotentiale zu erschließen, ergeben sich Herausforderungen für die Konzipierung von Smart Services, welche in den folgenden vier Handlungsfeldern verortet sind (Bild 2-30).

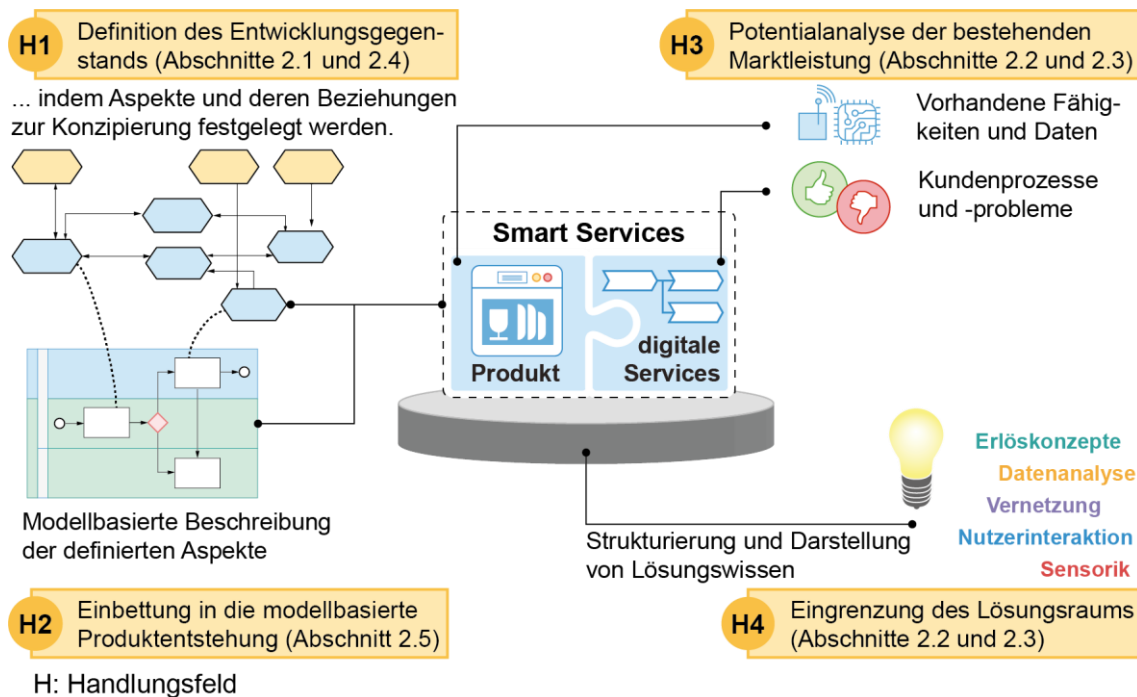


Bild 2-30: Handlungsfelder einer Systematik zur Konzipierung von Smart Services

Handlungsfeld 1 – Definition des Entwicklungsgegenstands: Die vorgestellten Arbeiten sind zu generisch (vgl. Abschnitt 2.4.1) oder beziehen sich auf die notwendigen Wertschöpfungs-systeme statt auf das Konzept der Marktleistung (vgl. Abschnitt 2.4.3). Die Definition des Entwicklungsgegenstands muss technische und wirtschaftliche Aspekte gleichermaßen abdecken (vgl. Abschnitt 2.4.2). Erlös-konzept, Serviceprozesse, Produktstruktur und Datenanalyse sind heterogene Aspekte, welche in einem Konzept zusammengefasst werden müssen. Darüber hinaus müssen die Beziehungen zwischen den Aspekten festgelegt werden, um aufeinander abgestimmte Konzepte zu ermöglichen.

Handlungsfeld 2 – Einbettung in die modellbasierte Produktentstehung: Durch die steigende Komplexität technischer Systeme ist die Produktentwicklung im Wandel. Systems Engineering ist ein Erfolg versprechender Lösungsansatz und wird mithilfe verschiedener Methoden und Werkzeuge in Unternehmen eingeführt (vgl. Abschnitt 2.5.2).

Zentraler Aspekt ist die modellbasierte Beschreibung und Entwicklung von Marktleistungen. Die Konzipierung von Smart Services muss sich in bestehende Referenzprozesse einbetten (vgl. Abschnitt 2.5.1) und Entwicklungsansätze (Abschnitt 2.5.3) nutzen.

Handlungsfeld 3 – Potentiale der bestehenden Marktleistung: Als Ausgangssituation zur Konzipierung wird eine bestehende Marktleistung eines Unternehmens angenommen, in dessen Zentrum ein physisches Produkt steht. Die Konzipierung von Smart Services soll vor dem Hintergrund der technischen und wirtschaftlichen Potentiale der Marktleistung erfolgen (vgl. Abschnitte 2.2 und 2.3). Insbesondere als digitales Add-on eines Produkts, sollte ein Smart Service mit minimalem Änderungsaufwand am Produkt realisiert werden.

Handlungsfeld 4 – Eingrenzung des Lösungsraums: Für die technischen und wirtschaftlichen Aspekte besteht ein heterogener, bisher nicht integrierter Lösungsraum. Technische Aspekte betreffen die Wahl von Sensorik, Vernetzungstechnologie, Benutzerschnittstelle und Datenanalysefähigkeiten (vgl. Abschnitt 2.2). Wirtschaftliche Aspekte liegen im Bereich Erfolg versprechender Serviceideen und Erlösconzepte (vgl. Abschnitt 2.3). Die Beziehungen zwischen den Aspekten müssen bei der Wahl von Lösungselementen berücksichtigt werden.

Die Gestaltung der Wertschöpfungssysteme für Smart Services ist ebenfalls ein Handlungsfeld (vgl. Abschnitt 2.4.3). Es handelt sich jedoch um eine eigene Entwicklungsaufgabe, ähnlich der Konzipierung eines Produktionssystems, und wird aufgrund dessen in der vorliegenden Arbeit nicht adressiert. An dieser Stelle sei auf die Arbeiten von SCHNEIDER und MITTAG verwiesen, welche dieses Handlungsfeld adressieren [Sch18], [Mit19].

Notwendige Bestandteile der vorliegenden Arbeit

Die gezeigten Nutzenpotentiale und Herausforderungen werden durch Bestandteile der Systematik und deren Zusammenwirken adressiert. Es resultieren vier Bestandteile:

- **Referenzarchitektur:** Zur Definition und Darstellung des Entwicklungsgegenstands soll eine Referenzarchitektur dienen, welche die notwendigen technischen und wirtschaftlichen Aspekte abbildet und eine integrative Konzipierung ermöglicht. Im Sinne des Model-based Systems Engineering sind Diagramme und andere Darstellungstechniken notwendig, um die Aspekte visuell darzustellen und gedanklich miteinander zu verbinden. Die Beziehungen zwischen den Aspekten müssen explizit dargestellt werden, um bei der Konzipierung berücksichtigt zu werden.
- **Lösungswissen:** Der heterogene Lösungsraum muss durch ausgewähltes Lösungswissen strukturiert und eingegrenzt werden. Es muss konkretes Lösungswissen für Smart Services identifiziert und strukturiert dargestellt werden, welches sich auf technische und wirtschaftliche Aspekte bezieht. Zur Berücksichtigung der aspektübergreifenden Beziehungen müssen auch Elemente des Lösungswissens miteinander in Beziehung gesetzt werden.

- **Hilfsmittel:** Die Konzipierung muss durch geeignete Hilfsmittel unterstützt werden, welche auf die Referenzarchitektur und das Lösungswissen abgestimmt sind. Zum einen sind Hilfsmittel zur Analyse der Ausgangssituation notwendig, um die technischen und wirtschaftlichen Potentiale einer bestehenden Marktleistung zu identifizieren. Zum anderen sind Hilfsmittel zur Strukturierung und Eingrenzung des Lösungsraums notwendig.
- **Vorgehensmodell:** Die Konzipierung von Smart Services soll in einem Vorgehensmodell gezeigt werden, welches die Anwendung und Verknüpfung der Bestandteile der Systematik zeigt. Das Vorgehensmodell soll die Ideenfindung, Analyse des bestehenden Systems sowie Synthese einer neuen Marktleistung abdecken.

2.7 Anforderungen

Aus den Nutzenpotentialen und Herausforderungen resultieren Anforderungen an eine *Systematik zur Konzipierung von Smart Services für mechatronische Systeme* und dessen Bestandteile:

A1) Interdisziplinäre Referenzarchitektur: Die Definition des Entwicklungsgegenstands muss in einer interdisziplinären Referenzarchitektur erfolgen, welche aus einer Menge an Aspekten und deren Beziehungen untereinander besteht. Zum einen müssen Aspekte verschiedene Entwicklungsgesichtspunkte abbilden im Spannungsfeld von Geschäftsplanung, Entwicklung eines Produkt-Service Systems und Datenanalyse. Zum anderen müssen Struktur- (mechatronisches System) als auch Verhaltensaspekte (Serviceerbringung) und die Granularität eines Konzepts berücksichtigt werden

A2) Modellbasierte Systembeschreibung: Die Systematik muss eine Systembeschreibung enthalten, welche die Aspekte der Referenzarchitektur modellbasiert darstellt. Die Systembeschreibung ist Basis für Kommunikation, Koordination, Dokumentation und Entscheidungsunterstützung. Es sind anschauliche Darstellungstechniken erforderlich, um visuell einfach erfassbare Beschreibungen zu erreichen. Darüber hinaus müssen die Darstellungstechniken auf die Aspekte abgestimmt sein und insbesondere das Granularitätsniveau eines Konzepts ermöglichen.

A3) Datenorientierte Architektursicht: Die Umwandlung von Daten in Informationen mithilfe von Datenanalyse führt zu einem zentralen Nutzenpotential von Smart Services. Eine daten-orientierte Sicht soll die Logik zur Generierung von Informationen aus Daten abbilden. Zum einen muss die Datenanalyse als eigener Aspekt in der Referenzarchitektur abgebildet werden und zum anderen soll die Datenanalyse in anderen Aspekten sichtbar sein, z.B. durch Datenflüsse und Schnittstellen.

A4) Technisches und wirtschaftliches Lösungswissen: Das Lösungswissen soll zur Inspiration und Orientierung dienen sowie eine Eingrenzung des Lösungsraums ermögli-

chen. Das technische Lösungswissen soll die Bereiche Sensorik, Vernetzung, Nutzerinteraktion und Datenanalyse abdecken und das wirtschaftliche Lösungswissen Anwendungsszenarien und Erlösconzepte.

A5) Darstellung und Strukturierung von Lösungswissen: Das Lösungswissen ist in geeigneter Weise darzustellen und zu strukturieren, um es effektiv und effizient einzusetzen. Zum einen wird eine anschauliche Darstellung benötigt, welche zur Inspiration und Orientierung dient. Zum anderen muss die Eingrenzung des Lösungsraums realisiert werden, indem die Verträglichkeit zwischen Lösungen bewertet wird.

A6) Identifikation von Daten: Die Ausgangssituation der Systematik sieht ein bestehendes mechatronisches System vor. Im Systemumfeld befinden sich Daten, welche die Basis für Smart Services bilden können. Aufgrund vielfältiger Systemeinflüsse und Anzahl möglicher Daten, muss das Datenumfeld systematisch strukturiert werden, um relevante Daten zu identifizieren. Insbesondere bereits verfügbare Daten senken den Implementierungsaufwand durch weniger Änderungen im Bereich Hardware, da z.B. keine zusätzliche Sensorik notwendig ist.

A7) Potentiale des bestehenden Systems: Die Systematik muss die Potentiale eines bestehenden Systems berücksichtigen. Zum einen handelt es sich um technische Potentiale, wie vorhandene Sensorik, Schnittstellen zu zentralen IT-Systemen und Nutzern. Zum anderen müssen wirtschaftliche Potentiale identifiziert werden. Hierbei handelt es sich insbesondere um ungelöste Kundenprobleme in Zusammenhang mit dem bestehenden Produkt, welche mit Smart Services adressiert werden können.

A8) Systematisches Vorgehen: Dem Begriffsverständnis einer Systematik zur Konzipierung folgend, muss ein systematisches und reproduzierbares Vorgehen die Anwendung der Bestandteile der vorliegenden Arbeit zeigen. Ergebnis des Vorgehens muss eine Prinziplösung eines Smart Service sein, welche die Basis für die Detailentwicklung und Implementierung in einem Wertschöpfungssystem dient.

A9) Anwendungsfokus mechatronische Systeme: Die Evolution der Marktleistung im produzierenden Gewerbe stellt Unternehmen vor Herausforderungen und bietet gleichzeitig Chancen für Erfolg versprechende Marktleistungen auf Basis der bestehenden Produkte. Die Systematik soll das produzierende Gewerbe fokussieren und als Ausgangssituation ein physisches Produkt annehmen, bei dem es sich um mindestens ein einfaches, mechatronisches System handelt.

Anhand dieser Anforderungen werden in Kapitel 3 bestehende Ansätze bewertet, um einen möglichen Beitrag zur Zielerreichung der vorliegenden Arbeit zu identifizieren und den wissenschaftlichen Handlungsbedarf herauszustellen.

3 Stand der Technik

Vor dem Hintergrund der Problemanalyse werden bestehende Ansätze analysiert, welche im Kontext der zu entwickelnden Systematik relevant sind. Abschnitt 3.1 beinhaltet Referenzarchitekturen unterschiedlicher Technologiekonzepte, welche in den Grundzügen dem Konzept von Smart Services entsprechen. In Abschnitt 3.2 wird konkretes Lösungswissen dargestellt, wohingegen Abschnitt 3.3 Ansätze zur Darstellung und Strukturierung von Lösungswissen enthält. In Abschnitt 3.4 werden Vorgehensmodelle zur Entwicklung von Produkt-Service Systemen analysiert. Abschnitt 3.5 betrachtet modell-basierte Ansätze zur Darstellung von Marktleistungen. Das Kapitel schließt mit Abschnitt 3.6, einer Bewertung der betrachteten Ansätze und der Ableitung des Handlungsbedarfs.

3.1 Referenzarchitekturen für Technologiekonzepte

Eine Referenzarchitektur für Smart Services soll die Definition des Entwicklungsgegenstands ermöglichen und die notwendigen Aspekte zur Konzipierung abdecken. Zur Strukturierung der Möglichkeiten neuer Technologien existieren eine Reihe von Technologiekonzepten, welche durch Referenzarchitekturen definiert werden.

3.1.1 Technology Stack nach PORTER/HEPPELMANN

PORTER/HEPPELMANN beschreiben mit einem Technology-Stack die notwendige Technologie-Infrastruktur für intelligente, vernetzte Produkte [PH14], [PH15]. Die Basis für den Technology-Stack bildet das Technologiekonzept intelligente, vernetzte Produkte, welches intelligente Funktionen in vier aufeinander aufbauenden Stufen ermöglichen soll: Überwachung, Steuerung, Optimierung und Automatisierung [PH14, S. 8].

Das Technologiekonzept sieht physische, intelligente und Vernetzungskomponenten vor. Zu den physischen Komponenten zählen mechanische und elektrische Bauteile, d.h. nur Hardware. Unter intelligenten Objekten werden Sensoren, Mikroprozessoren, Datenspeicher, Steuerungselemente sowie Betriebssysteme und Bedienoberflächen zusammengefasst, d.h. Hardware und Software. Die Vernetzungskomponenten umfassen Schnittstellen, Antennen und Protokolle, um zwei Funktionen zu realisieren: Datenaustausch zwischen dem Produkt und dem Betriebsumfeld sowie die Auslagerung von Produktfunktionen auf zentrale IT-Systeme [PH14, S. 5f].

Zur Realisierung des Technologiekonzepts wird ein mehrstufiger Technology-Stack vorgeschlagen, bestehend aus drei Hauptblöcken: Produkt, Netzwerkkomponenten und Cloud. Die Hauptblöcke sind umgeben von einer Identitäts- und Sicherheitsstruktur sowie Schnittstellen zu externen Datenquellen [PH14, S. 6]. Bild 3-1 zeigt den Technology-Stack in der Übersicht.

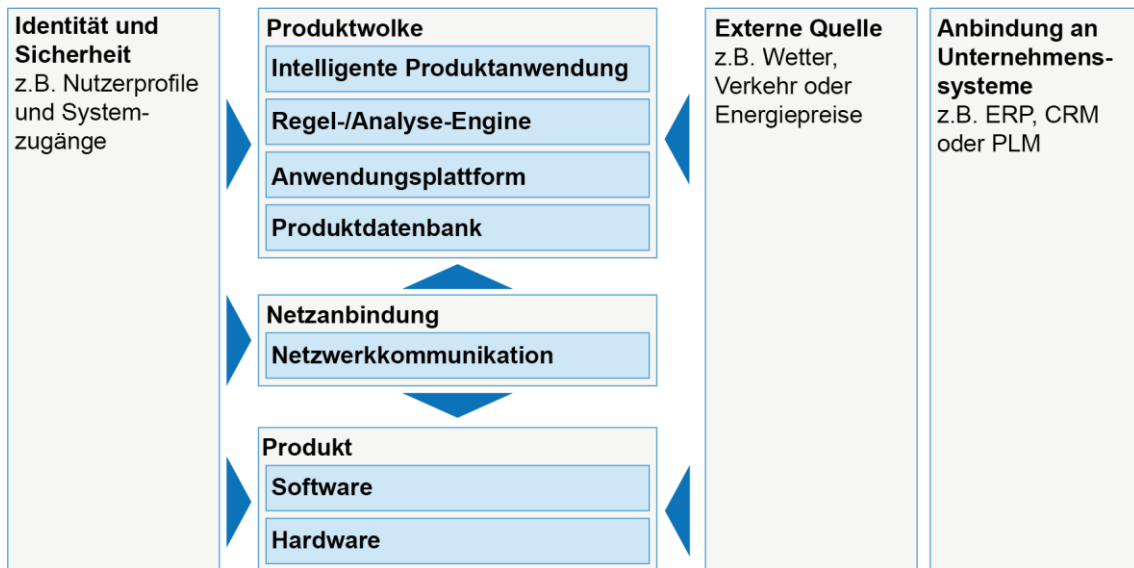


Bild 3-1: Technology-Stack nach PORTER/HEPPELMANN [PH14, S. 7]

Die Produkte sind über eine Kommunikationsschicht durch Netzwerkprotokolle mit zentralen IT-Systemen verbunden, welche als Produktwolke bezeichnet werden. Die Produktdatenbank aggregiert und verwaltet historische und aktuelle Produktdaten. Die Anwendungsplattform dient als Entwicklungsumgebung für Geschäftsanwendungen mit Datenzugang, Visualisierung und Laufzeittools. Der Regel-/Analyse-Engine bildet Geschäftslogiken und Big Data-Analysefähigkeiten ab, um auf der obersten Ebene die eigentlichen Produkthanwendungen zu ermöglichen [PH14, S. 7]. Bild 3-2 zeigt die Architektur der Datenanalyse, welche technisch durch den Technology-Stack abgebildet wird.

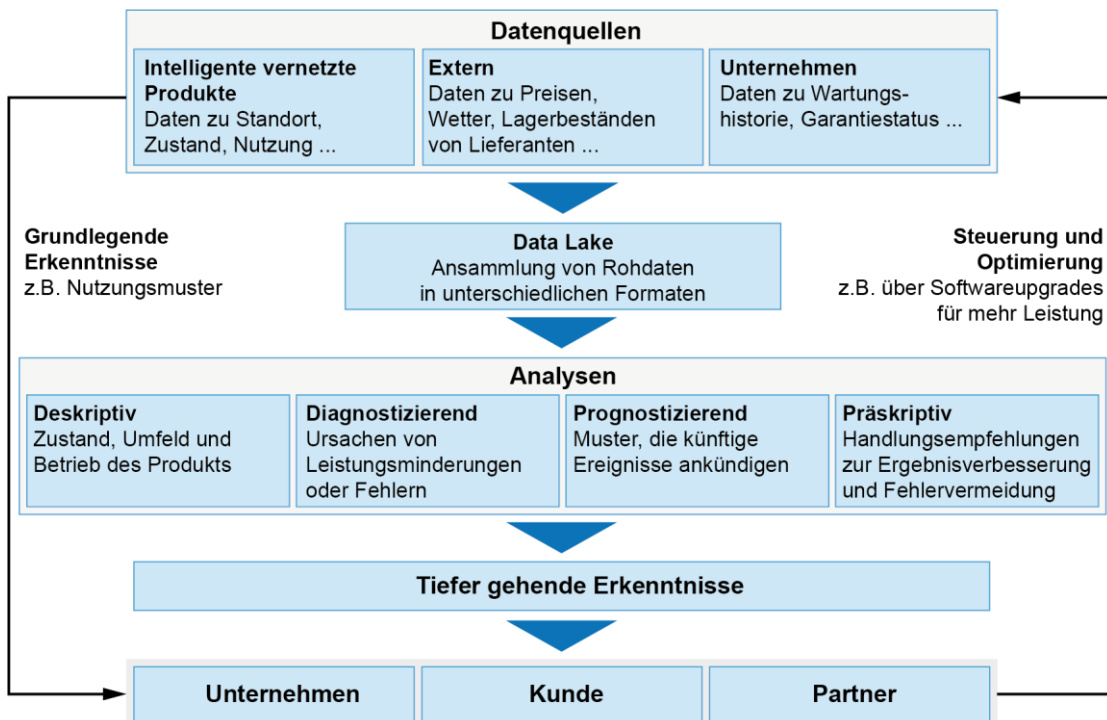


Bild 3-2: Architektur der Datenanalyse nach PORTER/HEPPELMANN [PH15, S. 10]

Ziel der Architektur der Datenanalyse ist die Kombination von getrennt erfassten Daten unterschiedlicher Quellen. Als wesentliche Herausforderungen werden hierbei die unterschiedlichen Formate der Rohdaten und die fehlende Struktur beschrieben. Datenanalysetools werden abhängig von ihren Fähigkeiten in vier Gruppen eingeteilt. Sie sollen Unternehmen durch unterschiedliche Erkenntnisse eine Optimierung von Produkten ermöglichen [PH15, S. 10].

Bewertung: PORTER/HEPPELMANN fokussieren intelligente Funktionen eines Produkts auf Basis von Datenanalyse und vernachlässigen das Nutzenpotential, Funktionen als Service anzubieten. Es fehlt eine Sicht auf den Ablauf der Serviceerbringung sowie die Struktur des bestehenden Systems, welches unter dem Element Hardware zusammengefasst ist. Der Technology-Stack stimmt mit der Grundidee von Smart Services überein (Nutzung von Produktdaten), liefert jedoch als Referenzarchitektur einen einseitigen Schwerpunkt auf die Datenanalyse. Die Architektur der Datenanalyse verdeutlicht den Nutzen der Kombination von Daten unterschiedlicher Systeme und Quellen, wodurch ein wesentliches Nutzenpotential von Smart Services transportiert wird.

3.1.2 IoT-Wertschöpfungsstufen nach FLEISCH et al.

FLEISCH et al. prägen das Technologiekonzept Internet der Dinge (IoT) und beschreiben die Anwendung von digitalen Geschäftsmodellmustern im produzierenden Gewerbe. Es entstehen hybride Marktleistungen aus einem physischen Ding und einem digitalen Service (vgl. Abschnitt 2.2.3 und Bild 2-8). Die Autoren beschreiben ein hybrides Nutzenversprechen, welches sich aus der Summe verschiedener Wertschöpfungsstufen einer IoT-Anwendung ergibt [FWW14, S. 6ff], [FWW15, S. 447f], [FWW17, S. 6ff]. Bild 3-3 zeigt die Wertschöpfungsstufen am Beispiel eines Ladungsträgers in einer Produktion.

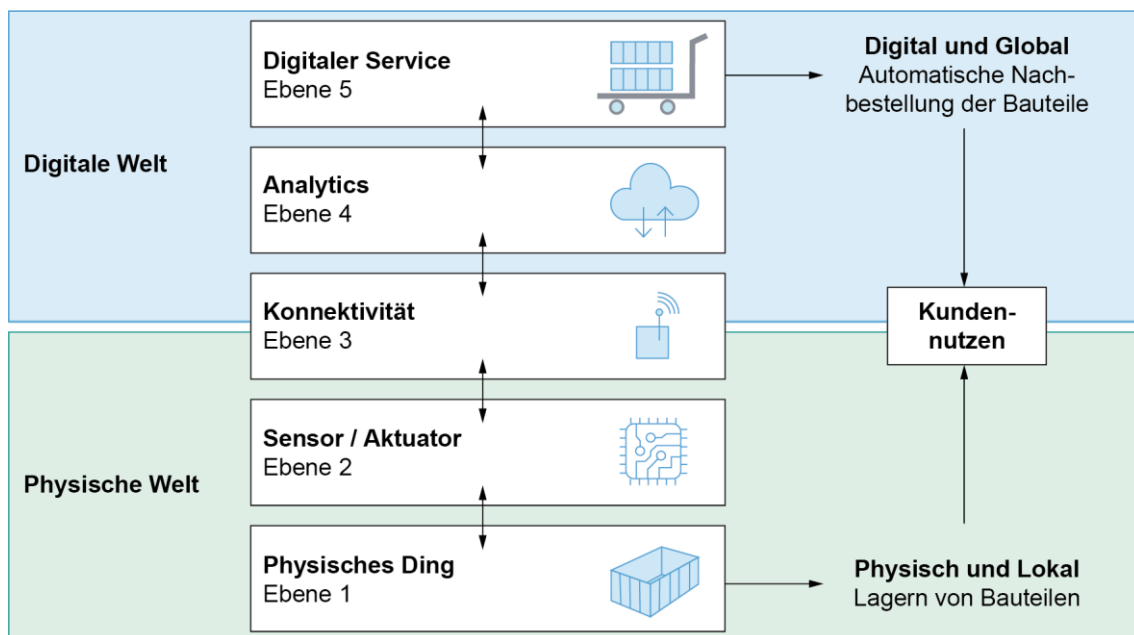


Bild 3-3: Wertschöpfungsstufen einer Anwendung im IoT [FWW17, S. 7]

Die erste Ebene beschreibt das physische Ding, dessen Nutzen in der physischen Welt realisiert wird, z.B. das Lagern von Bauteilen. Auf der zweiten Ebene wird das physische Ding mit Sensoren und Aktuatoren ausgestattet, wodurch ein erweiterter Nutzen entsteht, wie z.B. eine Füllstandmessung und ein Lichtsignal abhängig vom Füllstand. Die dritte Ebene ermöglicht einen digitalen, global verfügbaren Nutzen, wie z.B. der Zugriff auf die Füllstandinformation über das Internet. Die vierte Ebene beschreibt den Nutzen durch die Analyse der global verfügbaren Daten, wie z.B. durch Informationen über den Verbrauch der Bauteile. Auf der fünften Ebene werden durch Informationen digitale Services geschaffen, wie z.B. die automatische Nachlieferung der Bauteile, welche mit den Verbrauchsinformationen bedarfsgerecht und vorausschauend erfolgt [FWW17, S. 6ff].

Bewertung: FLEISCH et al. ermöglichen durch die gezeigten Wertschöpfungsstufen ein klares Verständnis der Nutzenpotentiale von Smart Services. Die Betonung des Nutzens der Anwendungen resultiert aus der Fokussierung auf Geschäftsmodellveränderungen, welche die Autoren im Wesentlichen mit dem Ansatz beschreiben. Der Ansatz ermöglicht damit die Erschließung von Anwendungsszenarien ausgehend von einem bestehenden Produkt und Geschäftsmodell. Hierdurch ist eine Potentialanalyse und Identifikation von Ideen möglich. Der Detaillierungsgrad der Architektur ermöglicht die Darstellung von Ideen, jedoch keine weitergehenden Konzepte.

3.1.3 Schichtenmodell für Data Analytics nach KÜHN et al.

Das Schichtenmodell nach KÜHN et al. zeigt eine Referenzarchitektur zur Beschreibung von Datenanalyse-Anwendungen. Dem MBSE-Konzept folgend (vgl. Abschnitt 2.5.2), dient es als Systemmodell zur Orchestrierung beteiligter Stakeholder in einem Umsetzungsprojekt [KJR+18]. Bild 3-4 zeigt das Schichtenmodell in der Übersicht.

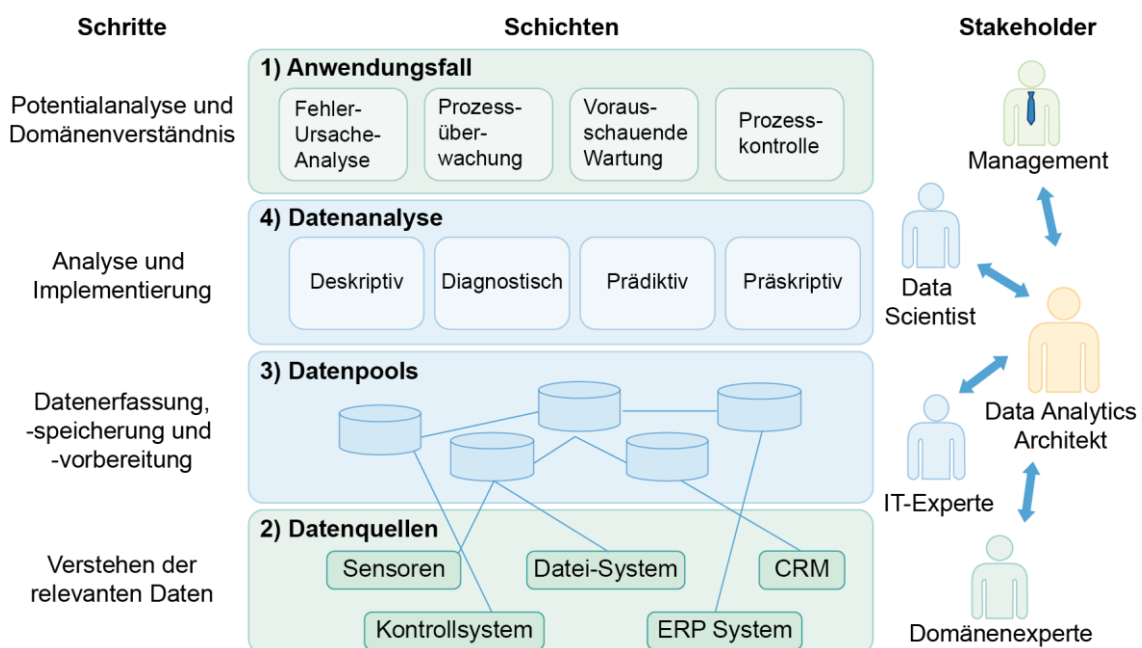


Bild 3-4: Schichtenmodell für Data Analytics nach KÜHN et al. [KJR+18, S. 164]

Das Schichtenmodell ist mit einem Vorgehen zur Erstellung der Architektur verbunden, wobei das Vorgehen nicht der Anordnungsreihenfolge der Schichten entspricht. Im ersten Schritt wird der Anwendungsfall identifiziert, welcher das zugrundeliegende Problem und Ziel der Datenanalyse beschreibt. Der zweite Schritt ist die Einordnung der Datenquellen, d.h. ob es sich um Daten von Sensoren, IT-Systemen oder analogen Dokumenten handelt. Der nächste Schritt ist die Beschreibung der Datenpools, um im letzten Schritt die notwendige Datenanalyse zu definieren [KJR+18, S. 164f]. Zur Einordnung nutzen die Autoren die von PORTER/HEPELMANN (vgl. Abschnitt 3.1.1) vorgeschlagenen Kategorien deskriptiv, diagnostisch, prädiktiv und präskriptiv.

Das Schichtenmodell baut auf den Arbeiten von REINHART et al. [RKD17] auf und ist die Basis für eine Analytics Canvas, welche das Schichtenmodell um eine semiformale Beschreibungssprache ergänzt. Die Beschreibungssprache ermöglicht die modellbasierte Darstellung der Elemente der einzelnen Schichten. Benötigte, aber nicht vorhandene, Elemente werden rot markiert, wodurch IST- und SOLL-Architektur in einer Sicht dargestellt werden können [KJR+18, S. 165].

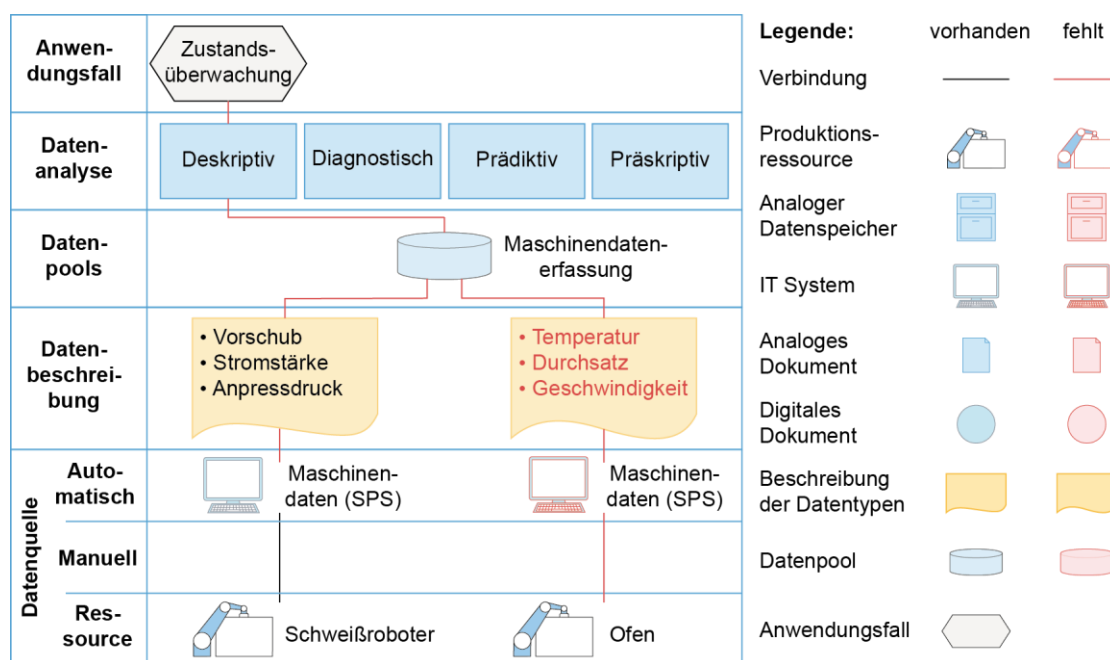


Bild 3-5: Analytics Canvas auf Basis des Schichtenmodells [KJR+18, S. 166]

Bewertung: Das Schichtenmodell eignet sich zur Abbildung des Aspekts der Datenanalyse und bildet eine datenorientierte Architektursicht auf Smart Services ab. Der Aspekt wird durch modellbasierte Beschreibungsmittel anschaulich und auf einem für eine Konzipierung geeigneten Granularitätsgrad dargestellt. Eine Potentialanalyse des bestehenden Systems ist durch die gemeinsame Sicht auf die IST- und SOLL-Architektur sehr gut möglich. Der Anwendungsfokus liegt jedoch im Bereich mechatronischer Systeme in der Produktion, wodurch sich der Suchradius relevanter Daten auf Systeme innerhalb eines Unternehmens beschränkt. Zur Anwendung auf mechatronische Produkte sollte die unterste Schicht für den Zweck der Datenidentifikation angepasst werden.

3.1.4 Smart Service-Architektur nach BEVERUNGEN et al.

BEVERUNGEN et al. schlagen eine Architektur für Smart Services vor, welche sich in die zwei Bereiche Konsumenten und Anbieter teilt. Im Sinne der servicedominanten Logik (vgl. Abschnitt 2.3.1) wird durch die Bereiche die gemeinsame Wertschöpfung von Konsument und Anbieter abgebildet. In Anlehnung an den Service Blueprinting-Ansatz nach SHOSTACK (vgl. Abschnitt 3.5.2) werden die Bereiche durch zwei Interaktions- und eine Sichtbarkeitslinie getrennt, um die Rollen von Konsument und Anbieter sowie deren Nutzen, Aktivitäten und Ressourcen zu trennen [BMM+17, S. 6ff]. Bild 3-6 zeigt die vorgeschlagene Architektur des Smart Service Systems.

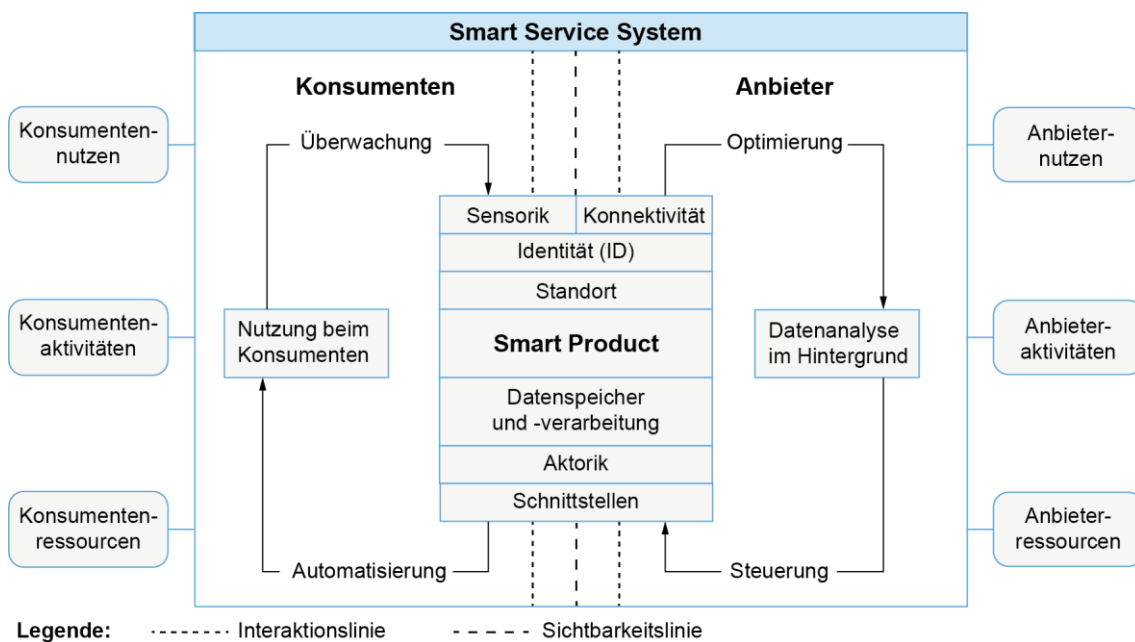


Bild 3-6: Smart Service-Architektur nach BEVERUNGEN et al. [BMM+17, S. 6]

Die Funktionen der Systeme werden in Anlehnung an PORTER/HEPPELMANN übernommen: Überwachung, Steuerung, Optimierung und Automatisierung. Das Smart Product zwischen Konsument und Anbieter dient als Schnittstelle und Plattform, um die komplementären Interessen, Aktivitäten und Ressourcen zu verbinden. Konsumenten sind daran interessiert, durch die Nutzung des Produkts zu profitieren. Anbieter möchten durch Datenanalyse im Hintergrund das Produkt optimieren und steuern. Entsprechend der Interessen ergeben sich unterschiedliche Aktivitäten. Anhand von Fallbeispielen verdeutlichen die Autoren die unterschiedlichen Interessen und Aktivitäten [BMM+17, S. 8ff].

Bewertung: BEVERUNGEN et al. ermöglichen mit der gezeigten Architektur eine Abbildung der servicedominanten Logik im Kontext Smart Services. Das Produkt ist eine Plattform für die gemeinsame Wertschöpfung von Konsumenten und Anbietern. Die Darstellung der unterschiedlichen Interessen von Konsument und Anbieter ermöglicht die Identifikation von vorteilhaften Situationen in der Geschäftsplanung: Unterschiedliche aber komplementäre Interessen an der Nutzung eines Smart Service können zu einer konfliktfreien Teilung der Produktivitätsgewinne führen. Die unterschiedlichen Interessen von

Konsumenten und Anbietern sind aus Sicht der Geschäftsplanung damit relevante, wirtschaftliche Aspekte, wenngleich die Stärke des Ansatzes in der theoretischen Erklärung der Zusammenarbeit von Konsument und Anbieter liegt.

3.1.5 Smart Service-Architektur nach BULLINGER et al.

BULLINGER et al. zeigen auf Basis ihres Konzepts des Service Engineering, ein Rahmenkonzept für Smart Services [BGN17, S. 104f]. Das etablierte Konzept sieht drei Leistungsdimensionen für Services vor: Potential, Prozess und Ergebnis [BS06, S. 57ff]. Den Dimensionen werden Elemente von Smart Services gegenübergestellt: Dienstleistung, digitale Dienste sowie Technologie und Daten. Durch das Aufspannen der Ebenen entsteht eine Matrix mit neun Feldern, welche bei der Gestaltung zu berücksichtigen sind.

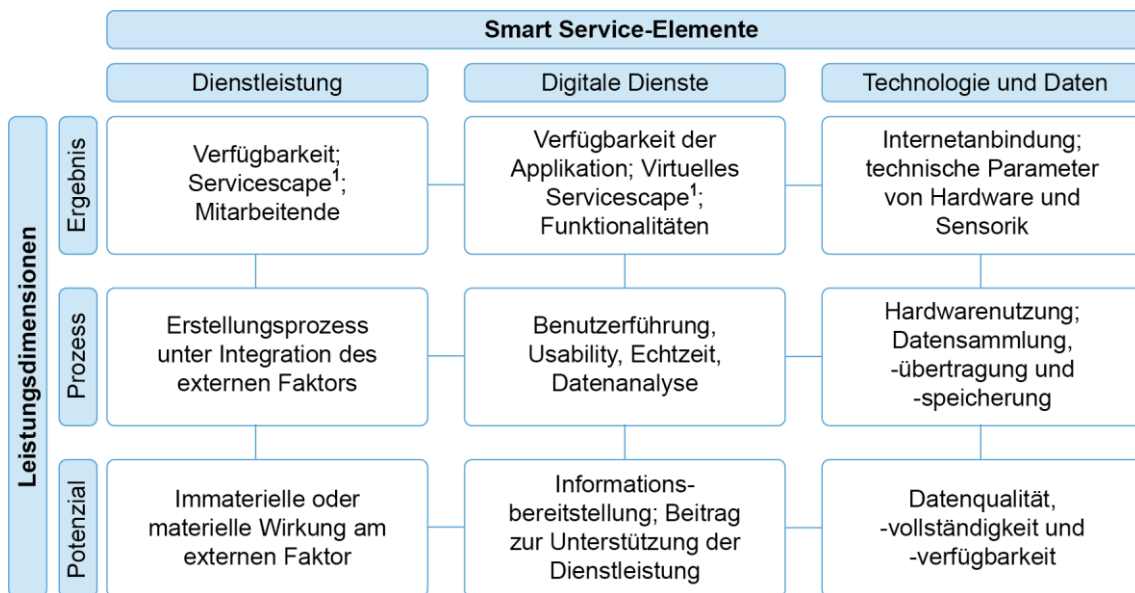


Bild 3-7: Rahmenkonzept zur Gestaltung von Smart Services nach BULLINGER et al. [BGN17, S. 104]

Die Zusammenhänge der Felder sind von rechts nach links und von oben nach unten zu lesen. Beispielsweise beeinflussen technische Parameter von Hardware und Software die Datensammlung, welche wiederum die Datenqualität beeinflusst. Die Datenqualität beeinflusst den Beitrag zur Unterstützung der Dienstleistung [BGN17, S. 104f].

Bei der Gestaltung von Smart Services wird die umgekehrte Reihenfolge vorgeschlagen und mit der Ergebnisdimension der Dienstleistung begonnen. Ziel der Definition der neun Leistungsbestandteile sind erfolgskritische Qualitäts- und Produktivitätsfaktoren sowie konkrete Gestaltungsmaßnahmen zur Umsetzung [BGN17, S. 104f].

¹ Servicescape beschreibt den Einfluss der Umgebung der Serviceerbringung auf das Verhalten des Kunden und die wahrgenommene Qualität [Bit92].

Bewertung: BULLINGER et al. zeigen mit der vorgeschlagenen Architektur die für sie wesentlichen Aspekte von Smart Services. Die Dimension Technologie und Daten stellt eine datenorientierte Sicht dar, welche durch die Servicedimensionen wirtschaftliche und technische Aspekte abbildet. Es werden für die Aspekte keine Vorgehen oder Beschreibungsmittel vorgeschlagen, welche zur weiteren Konzipierung notwendig sind. Darüber hinaus fehlen Aspekte zur Beschreibung eines mechatronischen Systems als Ausgangsbasis der Konzipierung.

3.2 Lösungswissen für Smart Services

Lösungswissen im Kontext von Smart Services soll dazu dienen den heterogenen Lösungsraum zu strukturieren und einzuschränken. Das Lösungswissen soll technische und wirtschaftliche Aspekte abbilden. Die gezeigten Ansätze beziehen sich auf die angrenzenden aber relevanten Bereiche Industrie 4.0 und Internet der Dinge.

3.2.1 Baukasten für Industrie 4.0 nach ANDERL/FLEISCHER

ANDERL/FLEISCHER zeigen in einem Leitfaden die Potentialanalyse und Einführung von Industrie 4.0-Anwendungen. Der Leitfaden beinhaltet zwei Werkzeugkästen, welche verschiedene Industrie 4.0-Anwendungen für die Bereiche Produkt und Produktion in einzelne Entwicklungsstufen zerlegt [AF15, S. 6]. Bild 3-8 zeigt den Baukasten für den Bereich Produkt mit Potentialen zur Steigerung des Nutzwerts von Marktleistungen.

Industrie 4.0					
Integration von Sensoren und Aktoren	Keine Nutzung von Sensoren / Aktoren	Sensoren / Aktoren sind eingebunden	Sensordaten werden vom Produkt verarbeitet	Daten werden vom Produkt für Analysen ausgewertet	Das Produkt reagiert auf Basis der gewonnenen Daten eigenständig
Kommunikation / Connectivity	Keine Schnittstellen am Produkt	Das Produkt sendet bzw. empfängt I/O-Signale	Das Produkt verfügt über Feldbus-Schnittstellen	Das Produkt verfügt über Industrial Ethernet-Schnittstellen	Das Produkt verfügt über Zugang zum Internet
Datenspeicherung und Informationsaustausch	Keine Funktionalitäten	Möglichkeit zur eindeutigen Identifikation	Produkt verfügt über passiven Datenspeicher	Datenspeicher zum autonomen Informationsaustausch	Daten- / Informationsaustausch als integraler Bestandteil
Monitoring	Kein Monitoring durch das Produkt	Detektion von Ausfällen	Erfassung des Betriebszustands zur Diagnose	Prognose der eigenen Funktionsfähigkeit	Selbstständige Maßnahmen zur Steuerung
Produktbezogene IT-Services	Keine Services	Services über Online-Portale	Serviceausführung direkt über das Produkt	Selbstständige Ausführung von Services	Eingliederung in IT-Service-Infrastruktur
Geschäftsmodelle um das Produkt	Gewinne durch Verkauf der Standardprodukte	Verkauf und Beratung zum Produkt	Verkauf, Beratung und Anpassung des Produktes an Kundenwünsche	Zusätzlicher Verkauf produktbezogener Dienstleistungen	Verkauf von Produktfunktionen

Bild 3-8: VDMA Leitfaden für Industrie 4.0 für Produkte [AF15, S. 12]

Die Anwendungsebenen (erste Spalte) werden durch fünf aufeinander aufbauende Entwicklungsstufen gegliedert. Der Baukasten dient damit der Einordnung der Kompetenzen

eines Unternehmens sowie zur Ideenfindung für Marktleistungen bzw. Produktionen. Die Anwendungsebene produktbezogene IT-Services beschreibt im weiteren Sinne Smart Services, jedoch ohne Bezug zu konkreten Anwendungsszenarien. Die Ebene Geschäftsmodelle um das Produkt fokussiert das Erlös-konzept und beschreibt den Wandel von einem produktorientierten zu einem serviceorientierten Erlös-konzept [AF15, S. 12f].

Bewertung: Der Baukasten stellt Lösungswissen in einem angrenzenden Thema strukturiert und anschaulich dar. Komplexe Anwendungen werden in einen kurzen Satz zusammengefasst, um das schwer überschaubare Themenfeld Industrie 4.0 greifbarer zu machen – eine Analogie für das Themenfeld Smart Services. Die Entwicklungsstufen im Bereich Produkt zeigen für die vorliegende Arbeit relevantes Lösungswissen, wobei die Entwicklungsstufen allgemein formuliert sind. Dennoch kann der Baukasten als Vorbild dienen, um ein schwer überschaubares Themenfeld zu strukturieren und Anknüpfungspunkte zur Orientierung und Inspiration zu bieten.

3.2.2 Leistungsstufen von CPS nach WESTERMANN

WESTERMANN zeigt eine Systematik zur Reifegradmodell-basierten Planung von Cyber-Physical Systems (CPS) des Maschinen- und Anlagenbaus. Basis der Arbeit bildet eine Referenzarchitektur für CPS (vgl. Abschnitt 2.2.2), welche als Leitlinie für die Weiterentwicklung technischer Systeme dient. Ein Reifegradmodell beschreibt unterschiedliche Leistungsstufen von technischen Systemen, mit denen der aktuelle Leistungsstand erhoben und Leistungssteigerungen geplant werden können [Wes17].

Die Leistungsstufen orientieren sich an sieben Komponenten der Referenzarchitektur: Aktorik, Sensorik, Informationsverarbeitung, Kommunikationssystem, Human-Machine-Interface, Daten und Dienste. Für jede Komponente werden Handlungselemente vorgeschlagen, welche jeweils fünf Leistungsstufen besitzen. Die Leistungsstufen werden durch Eigenschaften definiert, welche auf der Stufe erfüllt sein müssen [Wes17, S. 98ff]. Für die sieben CPS-Komponenten existieren insgesamt 20 Handlungsfelder. Bild 3-9 zeigt die Handlungselemente und Leistungsstufen der CPS-Komponente Dienste.

Bewertung: WESTERMANN strukturiert das Technologiekonzept Cyber-Physical Systems durch eine Referenzarchitektur und zeigt eine strukturelle Sicht auf die Architektur. Die Architektur kann genutzt werden, um Änderungen an einem System zu planen, welches um Smart Services ergänzt werden soll. Darüber hinaus ermöglicht die Zuordnung von Handlungselemente zu Architekturkomponenten eine Strukturierung der Leistungsstufen. Die Leistungsstufen enthalten Lösungswissen zur Planung des Ziel-Reifegrads und sind teilweise für Smart Services relevant. Die Handlungselemente beschreiben jedoch nur allgemeine Leistungsstufen. Beispielsweise beschreibt das Handlungsfeld Diensteanwendung keine Ausgestaltung von Diensten, sondern lediglich den Grad der Nutzung von Diensten durch das System. Es gilt die Handlungsfelder im Einzelnen auf die Relevanz für Smart Services zu prüfen.

	Handlungselement	Leistungsstufen				
		1	2	3	4	5
Dienste	Dienste-applikation	Keine Dienste	Nutzen von Diensten	Nutzung und Bereitstellung von Diensten	Selbstständige Ausführung von Diensten	Situationspezifische Dienstekomposition
	Grad der Nutzung und Bereitstellung von Diensten durch das System.	Das System nutzt keine Dienste und stellt keine Dienste bereit.	Das System nutzt vorgegebene Dienste.	Das System nutzt vorgegebene Dienste und stellt eigene Dienste bereit.	Das System nutzt vorgegebene Dienste selbstständig aus.	Das System stellt Dienste situationspezifisch zusammen und führt diese selbstständig aus.
	Digitaler Kundenzugang	Kein digitaler Kundenzugang	Erfassung von historischen Nutzungsdaten	Analyse von Nutzungsdaten	Erfassung und Analyse von Nutzungsdaten in Echtzeit	Interaktion mit dem Kunden über das System
	Automatische Adressierung und Interaktion mit dem Kunden über digitale Wege.	Es besteht kein digitaler Kundenzugang nachdem das System an den Kunden übergeben wurde.	Nutzungsdaten des Kunden werden erfasst und zeitversetzt übermittelt. Eine Interaktion mit dem Kunden findet nicht statt.	Historische Nutzungsdaten des Kunden werden analysiert und ausgewertet. Eine Interaktion mit dem Kunden findet nicht statt.	Nutzungsdaten des Kunden werden in Echtzeit erfasst, übermittelt und analysiert. Eine Kundeninteraktion findet nicht statt.	Es erfolgt eine digitale Interaktion mit dem Kunden über das System. Kundendaten werden erfasst, übermittelt und analysiert [...]

Bild 3-9: Handlungselemente und Leistungsstufen der CPS-Komponente „Dienste“ [Wes17, S. 107]

3.2.3 Ertragsmodelle im Internet der Dinge nach WORTMANN et al.

WORTMANN et al. zeigen das wirtschaftliche Potential des Technologiekonzepts Internet der Dinge (vgl. Abschnitt 2.2.3) durch sechs Ertragsmodelle, welche wiederum drei Ertragsmodelltypen (Produkt-basiert, Service-basiert und Hybrid) zugeordnet werden [WBW+17]. Bild 3-10 zeigt die Ertragsmodelle, welche durch monetarisierte und nicht-monetarisierte Marktleistungskomponenten charakterisiert werden.

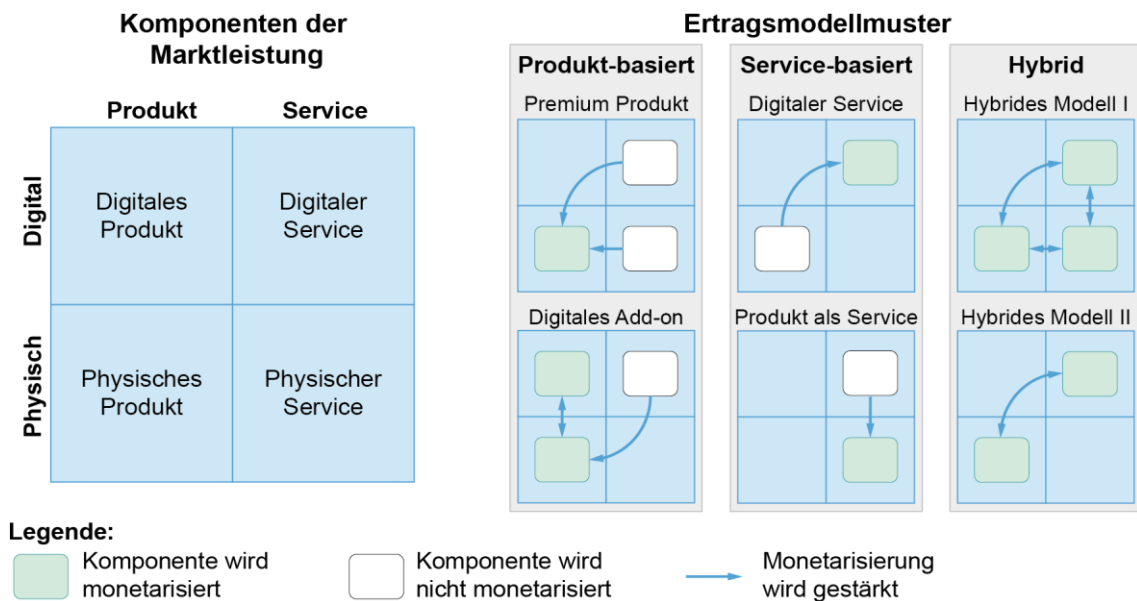


Bild 3-10: Komponenten der Marktleistung und Ertragsmodellmuster im Internet der Dinge in Anlehnung an WORTMANN et al. [WBW+17, S. 11ff]

Die vorgestellten Ertragsmodelle basieren auf Fallstudien und können auch als Ertragsmodellmuster bezeichnet werden. Die drei übergeordneten Ertragsmodelltypen unterscheiden sich in Bezug auf den Erlösstrom. Produkt-basierte Ertragsmodelle sind durch einen einmaligen Erlösstrom gekennzeichnet, welcher in der Regel mit einem Eigentumsübergang realisiert wird. Servicebasierte Ertragsmodelle zeichnen sich durch regelmäßige Erlösströme und wiederkehrende Zahlungen aus. Hybride Modelle sind eine Kombination aus einmaligen und regelmäßigen Erlösströmen [WBW+17, S. 10ff].

Die Unterschiede zwischen den einzelnen Mustern resultieren aus den Marktleistungskomponenten, welche monetarisiert werden und einen Erlösstrom erzeugen (in grün dargestellt). Ergänzende Komponenten werden nicht direkt monetarisiert, stärken aber die Monetarisierung anderer Komponenten und werden querfinanziert [WBW+17, S. 10ff].

Premium Produkte erzielen Erlöse durch den Verkauf eines physischen Produkts, dessen Wert durch physische und digitale Services erhöht wird. Die Kosten für die Services müssen durch die einmaligen Erlöse des Produkts abzüglich Herstellkosten querfinanziert werden. Durch die notwendige Querfinanzierung ergeben sich Normstrategien zum Einsatz der Ertragsmodellmuster. Im Falle des Musters Premiumprodukt müssen die wiederkehrenden Servicekosten im Vergleich zur Marge des Produktverkaufs sehr gering (Normstrategie Kostenmanagement) oder die Servicenutzung natürlich oder künstlich begrenzt sein (Normstrategie geplante Obsoleszenz) [WBW+17, S. 10].

Zur Unterstützung bei der Wahl des Ertragsmodells werden Funktionen zur Berechnung des kumulierten Cashflows für den Nutzungszeitraum der Marktleistung vorgeschlagen. Darüber hinaus zeigen die Autoren einen Entscheidungsbaum, welcher die Wahl des Ertragsmodellmusters als auch die Normstrategie unterstützt [WBW+17, S. 16ff].

Bewertung: WORTMANN et al. zeigen Potentiale und Möglichkeiten von Ertragsmodellen im Kontext des Internet der Dinge, welches nahezu deckungsgleich mit dem Konzept Smart Services ist. Die identifizierten Ertragsmodellmuster können als Lösungswissen zur Konzipierung von Smart Services dienen. Die dargestellte Querfinanzierung von Marktleistungskomponenten strukturiert die Möglichkeiten bei der Konzipierung eines Ertragsmodells. Die Funktionen zur Berechnung des kumulierten Cashflows ermöglichen eine frühzeitige Abschätzung der Profitabilität, wenn ausreichend Informationen vorhanden sind. Der vorgeschlagene Entscheidungsbaum liefert einen Ansatz zur Entwicklung einer nachhaltigen Strategie für das Servicegeschäft.

3.2.4 IoT-Stack nach ALLMENDIGER/HARBOR RESEARCH

Auf Basis der grundlegenden Arbeiten von ALLMENDIGER/LOMBREGLIA zur Definition von Smart Services [AL05] (vgl. Abschnitt 2.4.1), zeigen ALLMENDIGER/HARBOR RESEARCH einen Baukasten für Smart Services. Als wesentliche Handlungsfelder werden vier Bereiche bezeichnet: Geschäftsmodell, Markt, User Experience, Technologien und Beziehungen [All15-ol], [Har15]. Für die Bereiche werden zu berücksichtigende Aspekte

und jeweils eine Reihe von Bausteinen vorgeschlagen und visualisiert. Für die vorliegende Arbeit sind die Bereiche User Experience und Technologien besonders relevant und werden im Folgenden näher beschrieben.

Der Bereich User Experience enthält die Aspekte Kontext, Endgeräte und Schnittstellen. Der Kontext kann durch Ort/Umgebung, Identität und Zeit definiert werden. Bei den Endgeräten wird zwischen festen, mobilen und eingebetteten Endgeräten unterschieden. Schnittstellen werden durch Sinnesmodalitäten beschrieben, die durch Endgeräte angesprochen werden: Visuell, auditiv und taktil [Har15].

Im Bereich Technologie werden u.a. die Aspekte Sensorik, Aktorik und Konnektivität beschrieben. Sensorik und Aktorik werden durch Informationen charakterisiert, welche gemessen bzw. verändert werden können. Der Aspekt Konnektivität beinhaltet Funktechnologien, welche in Abhängigkeit von ihrer Reichweite in die Klassen Personal, Local, Metropolitan und Wide Area Network eingeteilt werden [PH18]. Bild 3-11 zeigt die Bausteine für Sensorik und Aktorik.

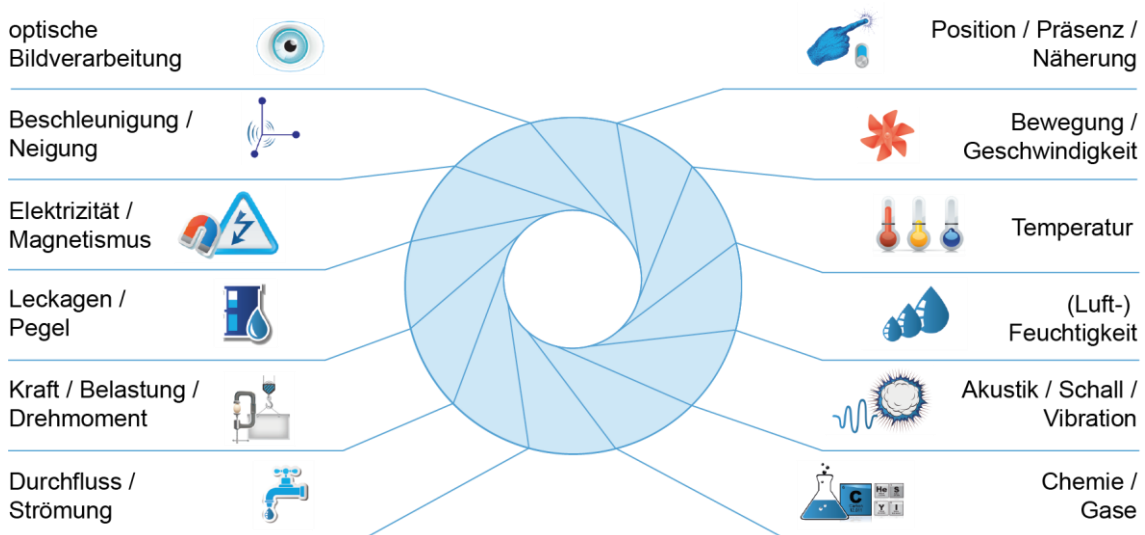


Bild 3-11: Bausteine für die Aspekte Sensorik und Aktorik [PH18]

Bewertung: Das vorgeschlagene Lösungswissen deckt die Aspekte Sensorik, Konnektivität und Nutzerinteraktion ab. Der Baukasten kann keinen Anspruch auf Vollständigkeit realisieren, aber der Mehrwert des Ansatzes liegt in der visuellen Aufbereitung und Vereinfachung. Die unterschiedlichen Darstellungen ermöglichen eine Orientierung und insbesondere Inspiration, wodurch die Potentialanalyse als auch die Ideenfindung unterstützt wird. Es fehlt jedoch eine Eingrenzung des Lösungsraums durch Vorschläge für Erfolg versprechende Kombinationen oder eine Konsistenzbewertung zwischen verschiedenen Elementen.

3.3 Darstellung und Strukturierung von Lösungswissen

Eine Tätigkeit bei der Konzipierung ist die Suche nach Lösungen für Teilfunktionen, welche miteinander kombiniert werden. Die Nutzung von Lösungswissen ist ein etabliertes Hilfsmittel, welches eine geeignete Strukturierung des Wissens erfordert. Ziel der vorliegenden Arbeit ist hierbei eine Eingrenzung des Lösungsraums sowie Inspiration und Orientierung des Systemarchitekten bei der Konzipierung.

3.3.1 Ordnungsschemata in der Konstruktionslehre

Ordnungsschemata ermöglichen eine strukturierte Darstellung von Lösungswissen und werden von PAHL/BEITZ als Hilfsmittel zur Ideenfindung in der Konzeptphase der Produktentwicklung vorgeschlagen. Der morphologische Kasten ist ein bekanntes Ordnungsschema, welches als Kombinationshilfe von Teillösungen zur Erarbeitung einer Gesamtlösung eingesetzt wird [FG13, S. 372ff]. Das Hilfsmittel geht auf ZWICKY zurück und stellt Funktionen eines Systems möglichen Lösungen gegenüber [Zwi89]. Bild 3-12 zeigt den Aufbau eines morphologischen Kastens am Beispiel eines Baggers.

Lösungen Funktionen	Alternative I	Alternative II	Alternative III	Alternative IV	Alternative V
Leistungs- erzeugung	Elektromotor	Ottomotor	Dieselmotor	Hydraulischer Motor	Pneumatischer Motor
Leistungs- übertragung	Hydraulische Kupplung	Riemenantrieb	Hebel	Elektrische Maschine	Pneumatische Kupplung
Drehmoment- wandlung	Mechanisches Getriebe	Elektrisches Getriebe	Hydraulisches Getriebe		
Ortsverän- derung	Schienen- räder	Pneumatische Räder	Raupenprinzip	Luftkissen	Stationär
Fassen, Greifen	Löffel	Aufreiser	Greifer	Kranhaken	
Greifer- bewegung	Seilzug	Mechanisches Gestänge	Gewichte	Hydraulische Zylinder	Pneumatischer Zylinder

Bild 3-12: Morphologischer Kasten am Beispiel eines Baggers [Köc03, S. 34]

Der morphologische Kasten ist eine mögliche Ausprägung eines Ordnungsschemas und enthält in den Zeilen Teilfunktionen und in den Spalten alternative Lösungselemente. Die Zeilen eines Ordnungsschemas werden als ordnende Gesichtspunkte bezeichnet und können wie die Spalten beliebig gewählt werden [FG13, S. 373f]. Lösungselemente sind realisierte und bewährte Lösungen für Funktionen, welche auf Wirkprinzipien beruhen, jedoch in der Praxis bevorzugt werden [GEK01, S. 36]. Konstruktionskataloge enthalten eine Vielzahl an Wirkprinzipien bzw. Lösungselementen für wiederkehrende Funktionen, welche in Ordnungsschemata strukturiert sind. Ein Beispiel sind die Konstruktionskataloge nach ROTH [Rot00], [Rot01]. Der in Abschnitt 3.2.1 beschriebene Baukasten für Industrie 4.0 ist ein Beispiel für die Anwendung eines Ordnungsschemas.

Bewertung: Ordnungsschemata ermöglichen eine systematische Speicherung und Kombination von Lösungswissen. Die Ordnungsmatrix kann beliebig gestaltet werden durch die Wahl der ordnenden Gesichtspunkte; sie ist weder auf technische Aspekte, noch auf Lösungselemente aus den Bereichen Maschinenbau und Elektrotechnik beschränkt. Es entsteht eine Übersicht wesentlicher Lösungen, welche eine gezielte Kombination ermöglicht, aber auch zur Inspiration und Ergänzung bestehender Lösungselemente befähigt. Als etabliertes Hilfsmittel für die Konzipierung im Bereich der Konstruktionslehre, bietet sich eine Adaption für Lösungswissen im Bereich Smart Services an. Zu einer weiteren Einschränkung des Lösungsraums fehlt jedoch eine Konsistenzbewertung der Lösungen untereinander und eine Betrachtung notwendiger Schnittstellen zwischen den Elementen.

3.3.2 Verträglichkeitsanalyse nach KÖCKERLING

KÖCKERLING zeigt eine Methode zur Entwicklung und Optimierung der Wirkstruktur für mechatronische Systeme. Eine Wirkstruktur zeigt das Zusammenwirken von Komponenten zur Erfüllung einer Gesamtfunktion. Ziel der Methode ist eine nach wirtschaftlichen und technischen Gesichtspunkten optimale Wirkstruktur [Köc03, S. 65ff]. Ein Bestandteil der Methode ist eine Lösungskombination und -auswahl auf Basis einer Verträglichkeitsanalyse. Bild 3-13 zeigt das dazugehörige Vorgehensmodell.

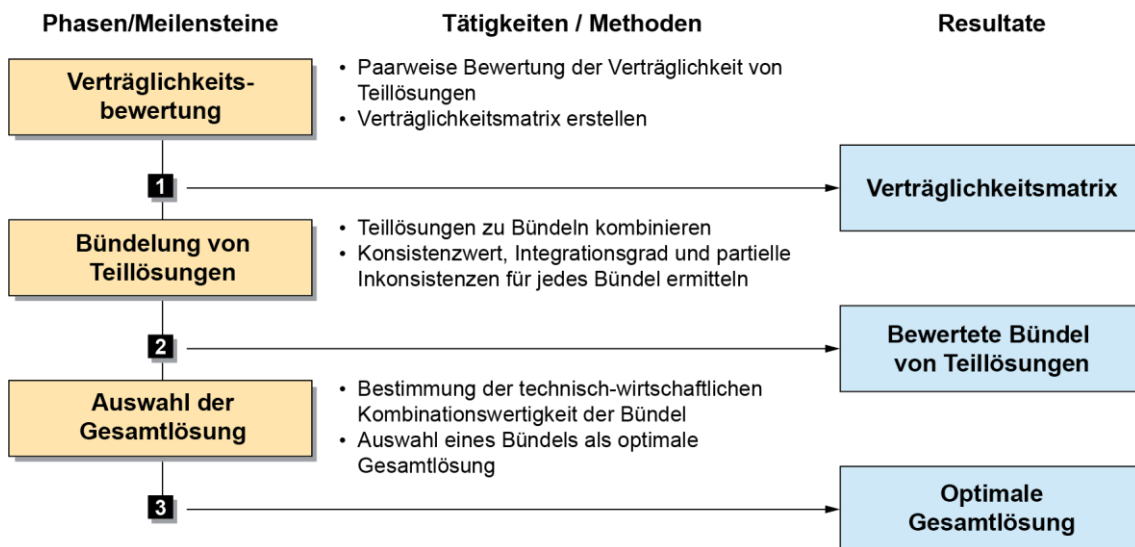


Bild 3-13: Vorgehensmodell zur Lösungskombination und -auswahl nach KÖCKERLING [Köc03, S. 79ff]

In der ersten Phase erfolgt eine Verträglichkeitsbewertung auf Basis eines morphologischen Kastens (vgl. Bild 3-12). Die Lösungsalternativen werden paarweise auf ihre Verträglichkeit hin bewertet und in einer Matrix dargestellt, welche in Zeilen und Spalten Lösungsalternativen enthält. Die Bewertung erfolgt auf einer Skala von grundsätzlicher

Unverträglichkeit (1) bis starke gegenseitige Unterstützung (5) [Köc03, S. 84]. Die Verträglichkeitsbewertung basiert auf der Konsistenzanalyse nach GAUSEMEIER et al. und wird u.a. innerhalb der Szenario-Technik genutzt [GEK01, S. 97f], [GP14, S. 62f].

In der zweiten Phase werden die Teillösungen gebündelt. Ein Bündel beschreibt einen möglichen Pfad durch den morphologischen Kasten. Mithilfe eines Softwarewerkzeugs (Scenario-Software) werden alle theoretisch möglichen Bündel gebildet und deren Konsistenzwerte berechnet. Der Konsistenzwert ist Ausdruck für die Verträglichkeit der jeweiligen Lösungskombination. Es wird eine Rangliste der Bündel mit abfallendem Konsistenzwert erstellt und durch zwei Kennzahlen ergänzt: Integrationsgrad und Anzahl partieller Inkonsistenzen (Bewertung = 1). Der Integrationsgrad beschreibt das Verhältnis von Teilfunktionen zu Teillösungen, da Teilfunktion durch mehrere Lösungen realisiert werden können und eine Lösung mehrere Funktionen abdecken kann [Köc03, S. 86f].

In der dritten Phase erfolgt die Auswahl der Gesamtlösung durch die Erhebung einer weiteren Kennzahl: Die technisch-wirtschaftliche Kombinationswertigkeit wird durch eine Bewertung der Erfüllung der Wunsch- und Zielanforderungen berechnet. In einem zweidimensionalen Portfolio werden Konsistenzwert und technisch-wirtschaftliche Kombinationswertigkeit gegeneinander aufgetragen und die Bündel platziert. Integrationsgrad und Anzahl partieller Inkonsistenzen bestimmen Größe und Farbe der Punkte im Portfolio. Durch das Portfolio wird die unter den gegebenen Umständen optimale Gesamtlösung ausgewählt [Köc03, S. 90ff].

Bewertung: KÖCKERLING zeigt ein Vorgehen zur Bewertung von Lösungsalternativen, welches eine Entscheidungsunterstützung in der Konzeptphase ermöglicht. Das Vorgehen kann auf andere Aspekte als Funktionen und Teillösungen ausgeweitet werden. Voraussetzung ist lediglich alternatives Lösungswissen für einen Aspekt, welches in Form eines morphologischen Kastens dargestellt ist. Denkbar ist demnach für die vorliegende Arbeit eine Bewertung der Kombination von technischen und wirtschaftlichen Lösungselementen für Smart Services, um den Lösungsraum einzugrenzen und eine Entscheidungsunterstützung in der Konzipierung zu realisieren.

3.3.3 Komplexitätsmanagement nach LINDEMANN/MAURER

LINDEMANN/MAURER beschreiben einen Ansatz zum Komplexitätsmanagement, welcher auf der Darstellung von Zusammenhängen in Systemen und Projekten durch unterschiedliche Matrizen basiert. Eine Design-Struktur Matrix (DSM) stellt den Zusammenhang von Elementen einer Domäne dar z.B. die Schnittstellen von Bauteilen untereinander. In einer Domain-Mapping Matrix (DMM) wird hingegen der Zusammenhang von Elementen zweier Domänen abgebildet, z.B. Bauteile und Funktionen. Grundlegende Arbeiten gehen auf STEWARD [Ste81], BROWNING [Bro01], EPPINGER [BE16] und PIMMLER [PE94] zurück. Die Kombination unterschiedlicher Matrizen führt zu einer Meta-Matrix, welche Multiple-Domain Matrix genannt wird [LMB09, S. 72]. Bild 3-16 zeigt das Vorgehensmodell des strukturierten Komplexitätsmanagements auf Basis der Matrizen.

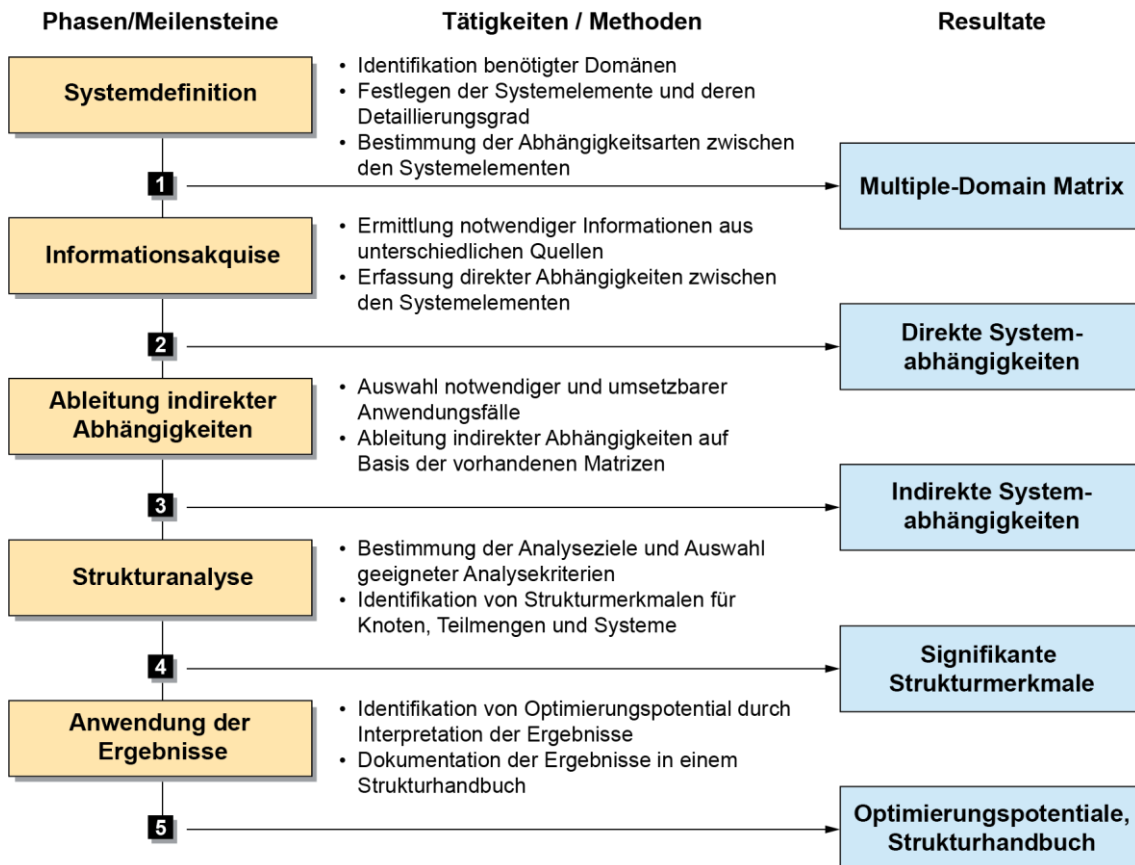


BILD 3-14: Vorgehensmodell des strukturierten Komplexitätsmanagements nach LINDEMANN/MAURER [LMB09, S. 64], [Mau07, S. 69]

In der ersten Phase erfolgt der Aufbau der Multiple-Domain Matrix durch Auswahl notwendiger Domänen, wie z.B. Komponenten, Dokumente und Personen. Innerhalb der Domänen werden Systemelemente und deren Detaillierungsgrad festgelegt, z.B. welche Komponenten auf welcher Ebene betrachtet werden. Es können mehrere Abhängigkeitsarten zwischen den Elementen betrachtet werden, wodurch mehrere Matrizen zwischen zwei Domänen entstehen [LMB09, S. 69ff], [Mau07, S. 71ff].

In der zweiten Phase werden die Matrizen befüllt und damit die direkten Abhängigkeiten zwischen den Domänen beschrieben. Es können unterschiedliche Informationsquellen genutzt werden: Explizite Informationen stammen aus bestehenden Datenbanken und Modellierungswerkzeugen, implizite Informationen werden aus Interviews mit Fachexperten abgeleitet. Die Matrizen aus dieser Phase werden auch als native Matrizen bezeichnet [LMB09, S. 79ff], [Mau07, S. 94ff].

Die dritte Phase beschreibt die Ableitung von indirekten Abhängigkeiten innerhalb einer Domäne auf Basis der vorhandenen Matrizen. Eine indirekte Abhängigkeit besteht beispielsweise zwischen Personen, welche an den gleichen Dokumenten arbeiten. Die indirekte Abhängigkeit wird dann aus der direkten Abhängigkeit von Personen zu Dokumenten rechnerunterstützt abgeleitet [LMB09, S. 99ff], [Mau07, S. 112ff].

In der vierten Phase werden Strukturmerkmale von ausgewählten Matrizen abgeleitet, welche das betrachtete System charakterisieren. Hierzu werden Analyseziele und -kriterien bestimmt, wie z.B. die Identifikation hochvernetzter und damit kritischer Komponenten. Strukturmerkmale können einzelne Knoten, Teilmengen oder das ganze System betreffen. Beispiele für Strukturmerkmale sind Brückenelemente (Knoten), Cluster und Feedback-Schleifen (Teilmengen) oder der Vernetzungsgrad (Systemebene) [LMB09, S. 119ff], [Mau07, S. 124ff].

Die Anwendung der Ergebnisse in der letzten Phase bedeutet deren Interpretation hinsichtlich ihres Kontexts. Hierzu werden weitere Analysen auf Basis der bisherigen Ergebnisse (Matrizen und Strukturmerkmale) durchgeführt. So kann zum Beispiel mit einer Feedforward-Analyse der Änderungsweg und damit der Aufwand einer Änderung eines Elements bewertet werden. Ein Strukturhandbuch dokumentiert Matrizen, Strukturmerkmale und die Interpretation der Ergebnisse [LMB09, S. 143ff], [Mau07, S. 135ff].

Bewertung: LINDEMANN et al. zeigen einen umfangreichen Ansatz zur Darstellung und Strukturierung komplexer Systeme. Zum einen können durch die verschiedenen Matrizen unterschiedliche Aspekte und Lösungswissen in Domänen abgebildet werden. Außerdem werden Zusammenhänge zwischen Aspekten strukturiert dargestellt und können einfach erweitert werden. Zum anderen kann eine weiterführende Analyse des Lösungswissens erfolgen, um beispielsweise die Konsistenz einer Teilmenge von Elementen zu bewerten oder wichtige Elemente (Knoten) auf Basis ihrer Vernetzung zu identifizieren. Die Darstellung der Systeme erfolgt durch Matrizen, welche komplementär zur modellbasierten Darstellung von Systemen mit Diagrammen ist. Beispielsweise können die Schnittstellen zwischen Diagrammen durch Knoten in einer Matrix dargestellt werden.

3.4 Vorgehen zur Konzipierung von Produkt-Service-Systemen

Die Konzepte Smart Services und Produkt-Service Systeme stimmen in dem Aspekt überein, dass Services integraler Bestandteil von Marktleistungen werden und Produkt und Service integrativ entwickelt werden müssen. Vorgehen zur Konzipierung von Produkt-Service-Systemen berücksichtigen aufgrund dessen frühzeitig den Aspekt Services auf unterschiedliche Art. Im Folgenden werden Ansätze mit unterschiedlichen Schwerpunkten auf Relevanz für die vorliegende Arbeit analysiert.

3.4.1 Planung und Konzipierung von Marktleistungen nach STOLL

STOLL zeigt ein Vorgehen zur Planung und Konzipierung von Marktleistungen. Ziel sind Problemlösungen bestehend aus Sach- und Dienstleistung, wodurch vielfältige Lösungskombinationen entstehen. Das Vorgehen wird für eine eingegrenzte Auswahl an Potentialen durchlaufen. Zur Erschließung weiterer Potentiale wird das Vorgehen ab der dritten Phase erneut durchlaufen [Sto09, S. 83ff]. Bild 3-15 zeigt das Vorgehen in der Übersicht.

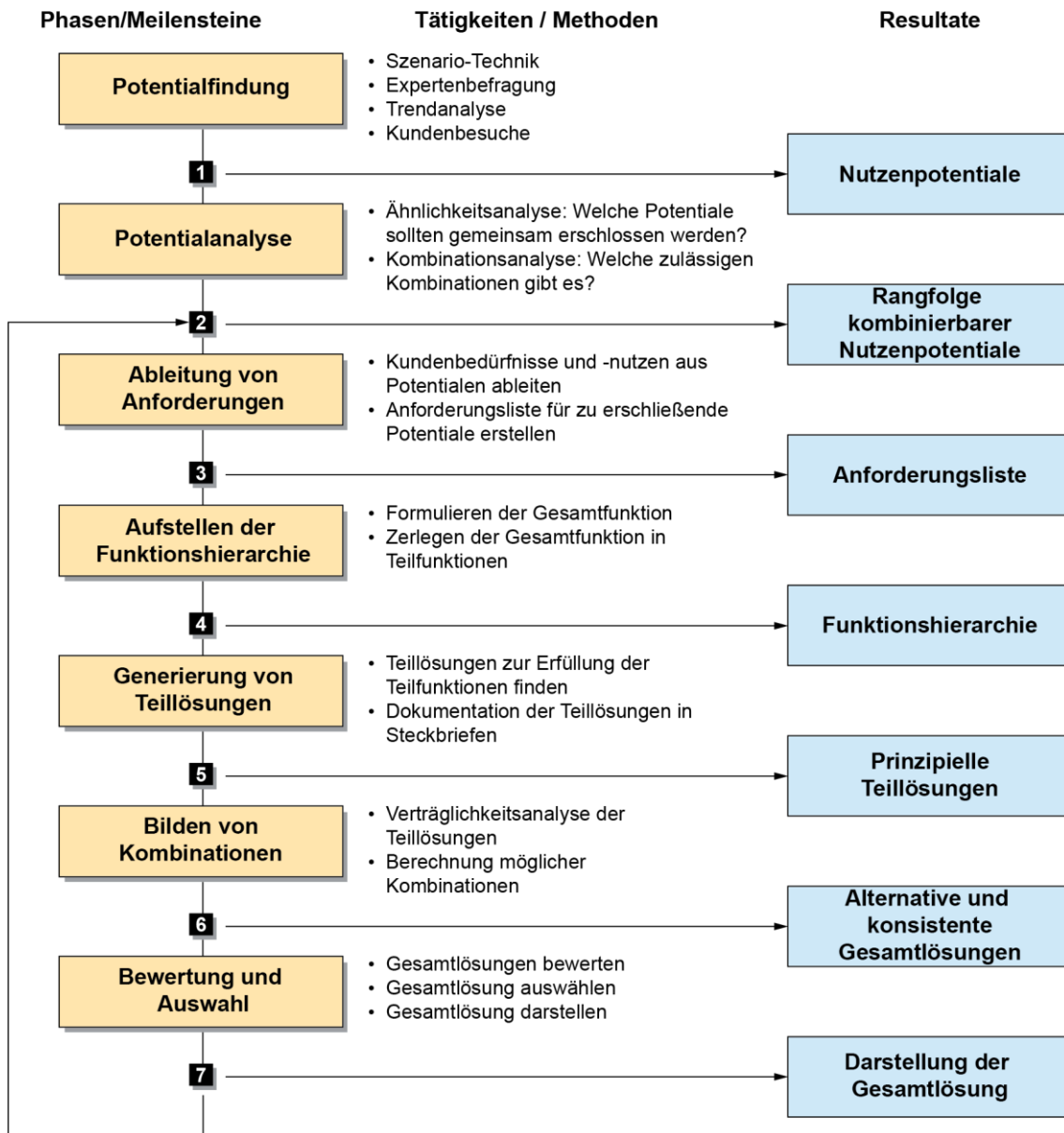


Bild 3-15: Vorgehen zur Planung und Konzipierung von Marktleistungen nach Stoll [Sto09, S. 84]

In der ersten Phase werden gegenwärtige und zukünftige Potentiale identifiziert, wozu Methoden der Markt- und Zukunftsanalyse genutzt werden. Ziel sind Potentiale in Form von Kundenproblemen und -bedürfnissen. Gegenwärtige Potentiale für Services ergeben sich aus einer Analyse der jetzigen und zukünftigen Kundenprozesse um das Produkt des Anbieters. Die Potentiale werden in Steckbriefen dokumentiert [Sto09, S. 85ff].

In der zweiten Phase erfolgt eine Analyse der Potentiale hinsichtlich ihrer Ähnlichkeit, Kombinierbarkeit und Attraktivität. Die Ähnlichkeit wird anhand von Kriterien in den folgenden drei Kategorien bewertet: Strategische Stoßrichtung, zugehörige Domäne und Optimierungspotentiale. Die Bewertung erfolgt in einer Matrix, welche Potentiale und Kriterien gegenüberstellt und in eine multidimensionale Skalierung (MDS) überführt. In

einer weiteren Matrix werden die Potentiale hinsichtlich der Kombinierbarkeit untereinander gegenübergestellt und ebenfalls in eine MDS überführt. Ähnliche und kombinierbare Potentiale werden durch eine Attraktivitätsbewertung ausgewählt [Sto09, S. 91ff].

In der dritten und vierten Phase werden Anforderungen abgeleitet und darauf aufbauend eine Funktionshierarchie erstellt. Für Services werden Anforderungen in den Bereichen Potentiale, Prozess und Ergebnis spezifiziert, in Anlehnung an die Dienstleistungsdimensionen nach BULLINGER (vgl. Abschnitt 3.4.1). Die Spezifikation von Funktionen ermöglicht die Abbildung von Prozessschritten als Funktion, wodurch Funktionen in Sach- oder Dienstleistungen münden können [Sto09, S. 102ff].

In der fünften und sechsten Phase werden Teillösungen generiert und miteinander kombiniert. Für die Lösungsgenerierung werden Kreativitätstechniken vorgeschlagen. Das Ergebnis sind Ideensteckbriefe und ein morphologischer Kasten. In Anlehnung an KÖCKERLING (vgl. Abschnitt 3.3.2) wird eine Verträglichkeitsanalyse zur Lösungskombination durchgeführt und Paare von Teillösungen auf Komplementarität, Konfliktpotential, Substituierbarkeit und Neutralität bewertet. Auf dieser Basis werden alle theoretischen Bündel von Teillösungen gebildet und Bündel mit konfliktären oder sich substituierende Teillösungskombinationen verworfen [Sto09, S. 107ff].

In der letzten Phase werden die alternativen Lösungen durch Kriterien in den drei Bereichen Unternehmen, Marktleistung und Kunde bewertet. Eine Rangfolge mit abfallender Bewertung führt zur Auswahl einer unter den gegebenen Bedingungen optimalen Gesamtlösung. Die Lösung wird mithilfe der Methode OMEGA (vgl. Abschnitt 3.5.3) in Form eines Prozesses beschrieben [Sto09, S. 116ff].

Bewertung: STOLL zeigt ein Vorgehen zur Planung und Konzipierung von Marktleistungen, welches technische und wirtschaftliche Aspekte berücksichtigt. Die durchgängige Kombination von Sach- und Dienstleistungs-Komponenten in Anforderungsliste, Funktionshierarchie, morphologischem Kasten und Verträglichkeitsmatrix ist ein pragmatischer Ansatz. Die Darstellung der Gesamtlösung mithilfe der Methode OMEGA greift jedoch unter den gegebenen Anforderungen der vorliegenden Arbeit zu kurz. Der Aspekt der Datenanalyse wird nicht betrachtet und die Architektur der Sachleistung nicht ausreichend dargestellt. Interessant ist die Anwendung der Verträglichkeitsmatrix nach KÖCKERLING im Kontext Produkt-Service-Systeme, um den Lösungsraum einzugrenzen, welche auf Smart Services übertragen werden kann.

3.4.2 HLB Entwicklungsprozess nach STARK/MÜLLER

Der von STARK/MÜLLER vorgeschlagene Entwicklungsprozess für hybride Leistungsbündel (HLB) basiert auf den Erkenntnissen des Sonderforschungsbereichs Transregio 29 (vgl. Abschnitt 2.5.3) [Mül13, S. 141f], [SM12, S. 47]. Der Prozess enthält Einflüsse aus Service-, Systems-, Software- und Requirements Engineering und hat die VDI-Richtlinie

2206 (Entwicklungsmethodik für mechatronische Systeme) zum Vorbild [VDI2206]. Neben der Form des Makrozyklus wurden das Prinzip der Validierungs- und Verifikations-schleifen sowie die Aufteilung in domänen-übergreifende und -spezifische Phasen übernommen [MS10, S. 368]. Bild 3-16 zeigt den Entwicklungsprozess in der Übersicht.

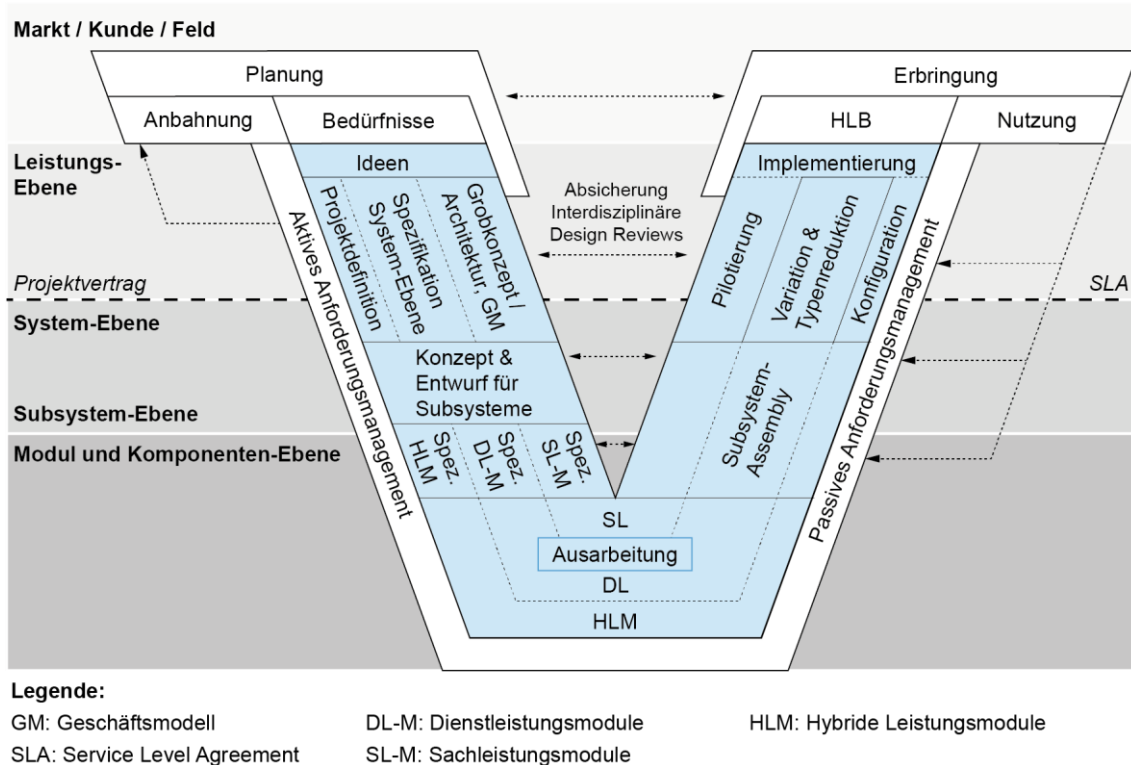


Bild 3-16: HLB Entwicklungsprozess des SFB 29 nach STARK/MÜLLER [SM12, S. 48]

Charakteristisch sind die Planungs- und Erbringungsphasen am Beginn bzw. Ende des Prozesses auf der obersten Ebene (Markt / Kunde / Feld). Die Phasen sollen eine Fokussierung des Kundennutzens und eine Projektorientierung ermöglichen, welche als Handlungsfelder für die Entwicklung von HLB herausgestellt wurden [SM12, S. 40f]. Die Projektorientierung ist notwendig, da komplexe Betreibermodelle als HLB betrachtet werden, welche eine Projektierung und ein langfristiges Projektmanagement erfordern.

In der Leistungsebene ist neben der Ideenfindung und Ausarbeitung eines Grobkonzepts auch die Konzipierung des Geschäftsmodells vorgesehen. Die System-Ebene ist aufgrund der Projektorientierung durch Verträge von der Leistungsebene getrennt (Projektvertrag und Service Level Agreement). Es folgen der Detailentwurf und die Ausarbeitung der Aspekte. Über den gesamten Prozess ist ein Anforderungsmanagement vorgesehen, welches mit der Integration und Erbringung passiv erfolgt, durch Feedback aus der Nutzung bzw. Erbringung [MS10, S. 368ff], [Mül13, S. 141ff], [SM12, S. 47ff]

Bewertung: STARK/MÜLLER zeigen ein generisches Vorgehen zur Entwicklung von hybriden Leistungsbündeln (HLB), welches explizit auf Marktleistungen im Maschinen- und Anlagenbau als komplexe Betreibermodelle abzielt. Hierbei handelt es sich nur um eine

Facette, welche mit Smart Services abgebildet werden kann. Aufgrund dieser Fokussierung und Projektorientierung werden entsprechenden Entwicklungsphasen vorgesehen (Anbahnung, Projektdefinition, Pilotierung). Diese Entwicklungsphasen sind für die Konzipierung in der vorliegende Arbeit nicht relevant, da sie der Umsetzung zuzuordnen sind. Darüber hinaus fehlt es dedizierten Handlungsanweisungen zur Konzipierung der gezeigten Aspekte, wie beispielsweise des Geschäftsmodells.

3.4.3 Entwicklung von Smart Services nach BULLINGER et al.

BULLINGER et al. schlagen einen Prozess zur Entwicklung von Smart Services vor [BMN15], [Fra18-ol], [MSA15]. Die einzelnen Phasen des Vorgehens werden durch drei Perspektiven betrachtet: Externe, interne und ökonomische Perspektive. Die Tätigkeiten und genutzten Methoden in den Phasen spiegeln die drei Perspektiven wider. Bild 3-17 zeigt das Vorgehen in der Übersicht.

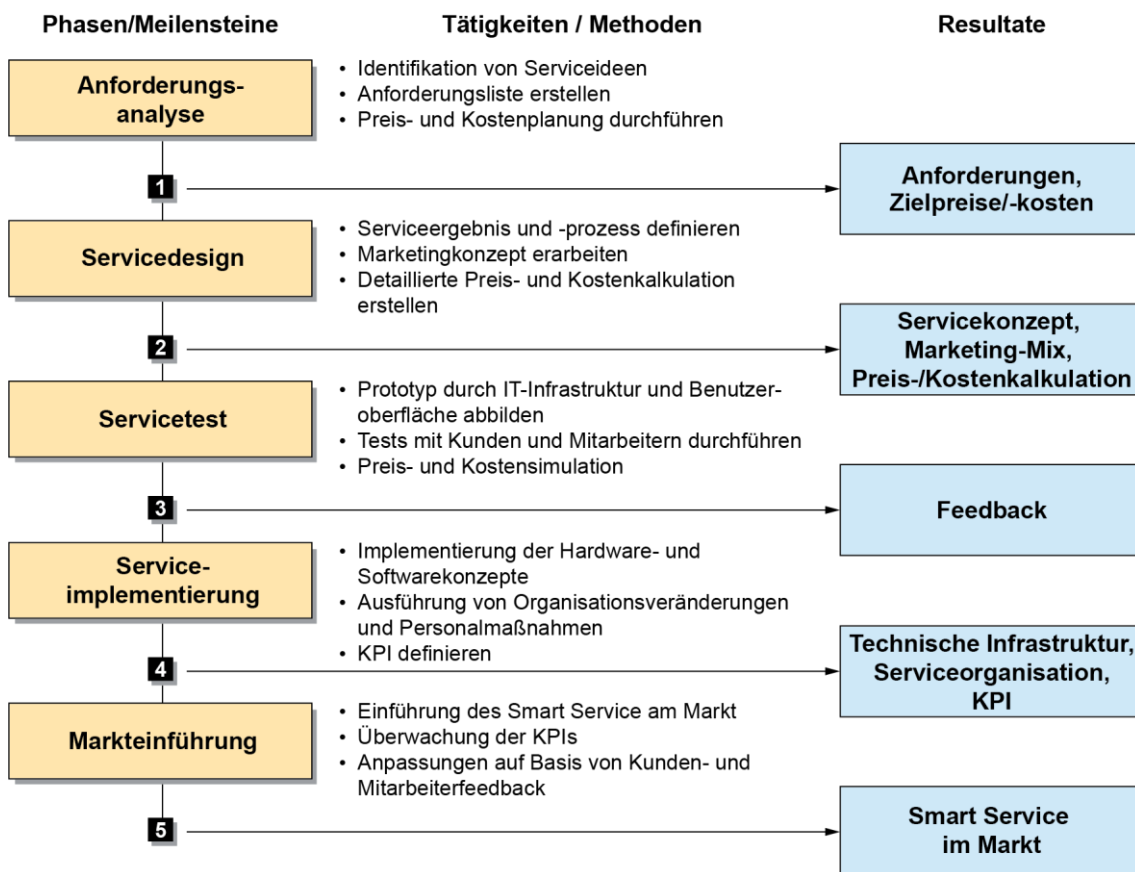


Bild 3-17: Vorgehen zur Entwicklung von Smart Services nach BULLINGER et al. [BMN15, S. 4]

Die erste Phase umfasst die Anforderungsanalyse, dessen Ausgangspunkt ein Geschäftsmodellkonzept für die geplante Marktleistung ist. Die Anforderungsanalyse dient der Ideenfindung durch Interviews und Workshops mit Mitarbeitern als auch Kunden. Ideen

werden visualisiert und münden in Anforderungen sowie kritischen Faktoren für die Umsetzung. Auf dieser Basis wird eine Preis- und Kostenplanung durchgeführt mit Methoden des Target-Pricing/-Costing, um Ziele für eine profitable Marktleistung zu definieren [BMN15, S. 4], [MSA15, S. 5].

Die zweite Phase (Servicedesign) umfasst die Ergebnisdefinition (Servicelevel) und notwendige Prozessschritte zur Serviceausführung. Zur Prozessdarstellung wird die Methode Service Blueprinting vorgeschlagen. Aufbauend auf den Prozessen werden notwendige Ressourcen (z.B. IT-Systeme) und deren Nutzung geplant. Der Marketing-Mix beschreibt das Zusammenspiel von Marktleistung, Preis, Kommunikation und Bereitstellung. Mit diesen Informationen kann eine detaillierte Kostenkalkulation durchgeführt werden [BMN15, S. 4], [MSA15, S. 5].

In der dritten Phase ist ein Servicetest vorgesehen, welcher eine erste Implementierung der geplanten IT-Infrastruktur und Benutzeroberfläche erfordert, um den Service initial auszuführen. Testziele sind Funktionsnachweise sowie die Akzeptanz durch Pilotkunden und Mitarbeiter. Darüber hinaus wird eine Service FMEA vorgeschlagen, um kritische Punkte zu identifizieren. Eine Preis- und Kostenkalkulation führt zu einem Feedback aus ökonomischer Perspektive [BMN15, S. 5], [MSA15, S. 5].

Die vierte Phase (Serviceimplementierung) umfasst die technische Implementierung als auch notwendige Veränderungen in der Organisation. Es müssen Verantwortlichkeiten zugewiesen werden, Leitlinien zur Prozessausführung sowie neue Personalstellen geschaffen und Weiterbildungen durchgeführt werden. Darüber hinaus sollen Kennzahlen identifiziert werden, welche das geplante Marketing-Konzept widerspiegeln und eine Überwachung der Serviceerbringung ermöglichen [BMN15, S. 5], [MSA15, S. 6].

Die letzte Phase beschreibt die Markteinführung, welche anhand der Kennzahlen überwacht wird. Gegebenenfalls werden auf Basis der Kennzahlen sowie von Kunden- und Mitarbeiterfeedback (z.B. durch Fragebögen oder Auswertungen von Beschwerden) letzte Anpassungen durchgeführt [BMN15, S. 5], [MSA15, S. 6].

Bewertung: BULLINGER et al. zeigen ein Vorgehen zur Entwicklung von Smart Services, welches als Schwerpunkt Serviceprozesse und deren Gestaltung betrachtet. Die verschiedenen Perspektiven stellen eine technische und wirtschaftliche Sicht dar. Die wirtschaftliche Sicht fokussiert jedoch vornehmlich die Wirtschaftlichkeitsberechnung, da die Voraussetzung für den Entwicklungsprozess ein definiertes Geschäftsmodell ist. Insbesondere die Potentiale des Zusammenspiels von (digitalen) Erlös Konzepten und der Weiterentwicklung technischen Systems werden ausgeklammert. Als technisches System werden IT-Systeme betrachtet, welche eine zentrale Rolle spielen, aber nicht die Potentiale des zugrundeliegenden, physischen Produkts widerspiegeln – einem mechatronischen System. Das vorgeschlagene Kennzahlensystem nutzt das Potential der Analyse von Nutzungsdaten zur fortlaufenden Überwachung und Verbesserung der Marktleistung.

3.4.4 Aachener Smart-Service-Engineering-Zyklus

STICH et al. beschreiben auf Basis eines Ordnungsrahmens für datenbasierte Dienstleistungen einen Smart-Service-Engineering-Zyklus. Der Ordnungsrahmen besteht aus den vier Bereichen Geschäftsmodell, Datenverarbeitung/-nutzung, physisches Objekt und technische Infrastruktur. Jeder Bereich enthält vier Handlungsfelder, wie z.B. Sensorik/Aktorik, Netzwerkfähigkeit, Sicherheit und Informationsverarbeitung für den Bereich physisches Objekt [SJF18, S. 6].

Auf Basis einer Benchmarking-Studie mit Unternehmen, welche erfolgreich datenbasierte Dienstleistungen anbieten, wurden sechs Erfolgsprinzipien abgeleitet: Interdisziplinäre Projektteams, strategische Partnerschaften, erfolgsorientierte Erlösmodelle, breite Datenbasis für das Training von Datenmodellen, Modularisierung sowie Schnelligkeit und Kundenorientierung [SJF18, S. 7ff]. Bild 3-18 zeigt den Smart-Service-Engineering-Zyklus, welcher vor dem Hintergrund der Erfolgsprinzipien entwickelt wurde.

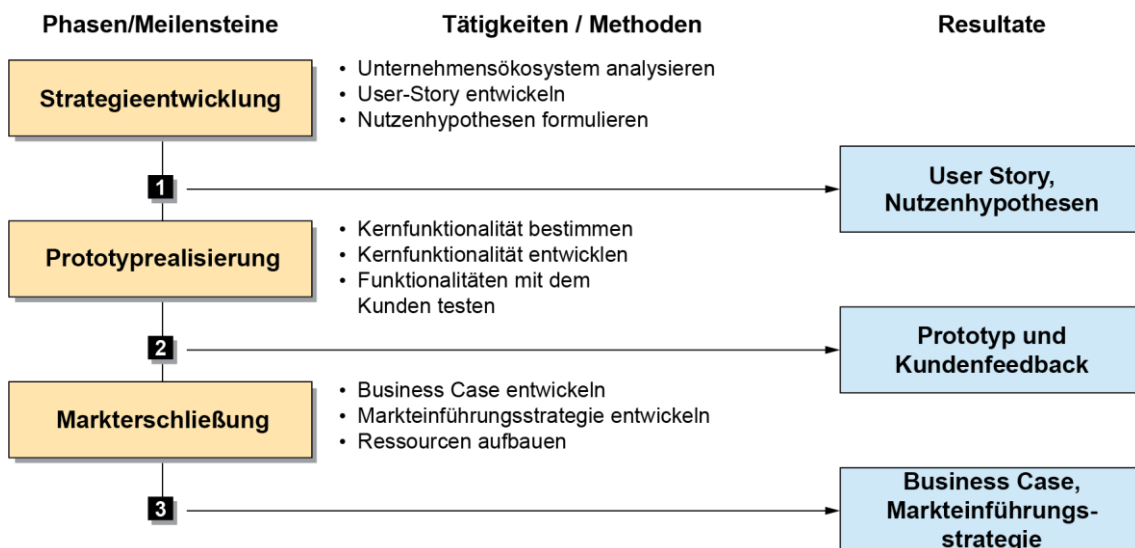


Bild 3-18: Aachener Smart-Service-Engineering Zyklus [SJF18, S. 14]

Das Vorgehen soll Agilität und schnelle Lerneffekte ermöglichen, weshalb kontinuierliche Iterationen in jeder Phase vorgesehen sind. Die Strategieentwicklung sieht eine Analyse des Unternehmensökosystems vor, um zielgerichtete Lösungskonzepte zu entwickeln. Die Prototypenrealisierung soll langwierige und kostspielige Analyse- und Entwicklungsphase vermeiden. Die Entwicklung eines Business Case wird erst aufbauend auf der Erprobung der Prototypen und des Kundenfeedbacks durchgeführt [SJF18, S. 14]. Die Autoren zeigen einen weiteren Ansatz (FIR-Service-Innovation-Zyklus), welcher datenbasierte Dienstleistungen einschließt, jedoch nicht die Konzipierung fokussiert und den gesamten Lebenszyklus von Dienstleistungen abdeckt [HHJ+17].

Bewertung: STICH et al. zeigen ein kompaktes Vorgehen, welches eine Konzentration auf Schnelligkeit und Agilität ermöglichen soll. Für die durchzuführenden Tätigkeiten

werden jedoch keine Methoden vorgeschlagen. Die identifizierten Erfolgsprinzipien können als eine Art Leitlinie bei der Konzipierung von Smart Services genutzt werden, da sie auf Erkenntnissen aus der Praxis beruhen. Die Handlungsfelder des Ordnungsrahmens zeigen für die Konzipierung wesentliche Elemente, welche bei der Entwicklung der Referenzarchitektur berücksichtigt werden können.

3.4.5 Wissensorientierte Entwicklung von PSS nach SCHENKL

SCHENKL zeigt ein Vorgehen zur Konzipierung von Produkt-Service Systemen (PSS) vor dem Hintergrund von Wissen im Unternehmen. Das Vorgehen baut auf einem PSS-Ebenenmodell auf: Ziel-, Leistungs- und Technologieebene ermöglichen die Abbildung von PSS als Entwicklungsgegenstand [Sch15, S. 59ff]. Im Zentrum des Vorgehens stehen Wissenslandkarten, welche Ist- und Soll-Zustand des Unternehmenswissens abbilden und durch den Ansatz des strukturellen Komplexitätsmanagements nach LINDEMANN/MAUER (vgl. Abschnitt 3.3.3) dargestellt werden.

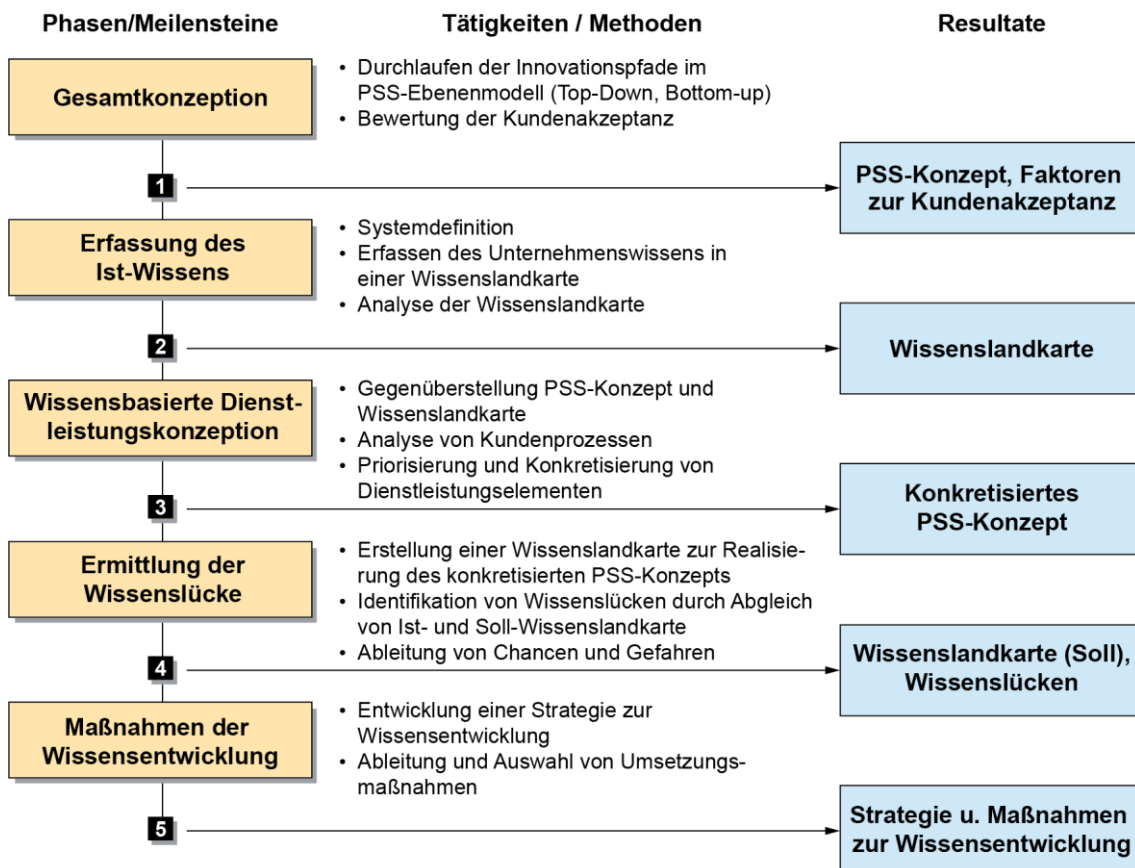


Bild 3-19: Vorgehen zur wissensorientierten Entwicklung von Produkt-Service Systemen nach SCHENKL [Sch15, S. 69]

Die erste Phase sieht das Durchlaufen des PSS-Ebenenmodells über zwei Pfade vor. Zum einen kann ein marktinduziertes Gesamtkonzept erstellt werden: Ausgehend von Nutzen-

potentialen von PSS werden Sach-, Dienstleistungs- und Infrastrukturelemente konzipiert. Darauf aufbauend werden Technologien zur Umsetzung identifiziert. Zum anderen kann ein technologie-induziertes Gesamtkonzept erstellt werden: Durch verfügbare Technologien ergeben sich Marktpotentiale, welche durch das PSS-Konzept realisiert werden. Für die Konzepte wird die Kundenakzeptanz bewertet indem Einflussfaktoren auf Motivation des Kunden identifiziert werden, Leistungen an einen PSS-Anbieter auszulagern [Sch15, S. 75ff].

In der folgenden Phase zwei wird das vorhandene Unternehmenswissen durch eine Wissenslandkarte erhoben und in einer Multiple Design Matrix (MDM) mit den Domänen Aufgaben, Wissen und Mitarbeiter dargestellt. Zur Erstellung der Wissenslandkarte werden vorhandene Aufgaben und Wissens Elemente gesammelt und mit Mitarbeitern verknüpft. Da die Erstellung der Wissenslandkarte durch die betroffenen Mitarbeiter selbst erfolgt, werden die erhobenen Daten durch eine Analyse verifiziert [Sch15, S. 84ff].

In der dritten Phase erfolgt eine Gegenüberstellung des PSS-Konzepts und der Wissenslandkarte. Den Dienstleistungselementen wird notwendiges Wissen zugeordnet. Elemente werden priorisiert, wenn ein hoher Bedarf an Wissen vorliegt, welches bereits verfügbar ist. Darüber hinaus werden Dienstleistungselemente den betreffenden Kundenprozessen gegenübergestellt. Priorisierte Elemente zur Unterstützung von Kundenaktivitäten werden konkretisiert und angepasst [Sch15, S. 93ff].

Die vierte Phase sieht die Erstellung einer weiteren Wissenslandkarte vor, welche den Soll-Zustand abbildet. Auf Basis des konkretisierten PSS-Konzepts werden Aufgaben und Wissen zur Aufgabenausführung abgeleitet. Ist- und Soll-Landkarte werden gegenübergestellt, um Wissenslücken und -überschuss zu identifizieren und Chancen und Risiken abzuleiten [Sch15, S. 97ff].

In der letzten Phase wird eine Strategie zur Schließung der Wissenslücken erarbeitet. Es bestehen drei grundsätzliche Strategien: Repräsentation, Kommunikation und Generierung von Wissen. Die Strategie mündet in Umsetzungsmaßnahmen, wie z.B. Aus- und Weiterbildung von Mitarbeitern oder die Akquisition neuer Mitarbeiter [Sch15, S. 103ff].

Bewertung: SCHENKL zeigt ein Vorgehen, welches die Entwicklung von wissensintensiven Produkt-Service Systemen ermöglicht. Statt auf vorhandenen Marktleistungen, baut das Vorgehen auf vorhandenem Wissen im Unternehmen auf. Damit können die Potentiale von langjährigem Expertenwissen bezüglich Produkten und Prozessen in Unternehmen realisiert werden. Der Ansatz der Wissenslandkarte zum Soll-Ist-Vergleich kann auf andere Domänen übertragen werden. Vorstellbar ist eine Daten- statt einer Wissenslandkarte, welche vorhandene und notwendige Daten zur Implementierung eines Smart Service gegenüberstellt, um die Potentiale vorhandener Daten zu realisieren.

3.5 Modellbasierte Darstellung von Marktleistungen

Die modellbasierte Darstellung von Marktleistungen ermöglicht durch visuelle Beschreibungsmittel ein einfacheres Erfassen von Ideen und Lösungen. Komplexe Zusammenhänge können deutlicher und objektiver dargestellt werden. Der folgende Abschnitt enthält modellbasierte Beschreibungsmittel für Produkt-Service Systeme, Service- und Geschäftsprozesse, mechatronische Systeme und Smart Services.

3.5.1 HLB-Layer-Methode nach MÜLLER/STARK

Die HLB-Layer-Methode nach MÜLLER/STARK dient zur Ideenfindung, Klärung der Entwicklungsaufgabe und Anforderungserhebung für hybride Leistungsbündel (HLB) [Mül13, S. 164ff], [MKS+09, S. 3ff], [SM12, S. 49ff]. Die Methode bettet sich in die Leistungsebene des HLB-Entwicklungsprozesses ein (vgl. Abschnitt 3.4.2). Neun Gestaltungsdimensionen werden als Schichten dargestellt und in Kunden- und Entwicklersicht unterteilt. Bild 3-20 zeigt die Methode am Beispiel einer Werkzeugmaschine.

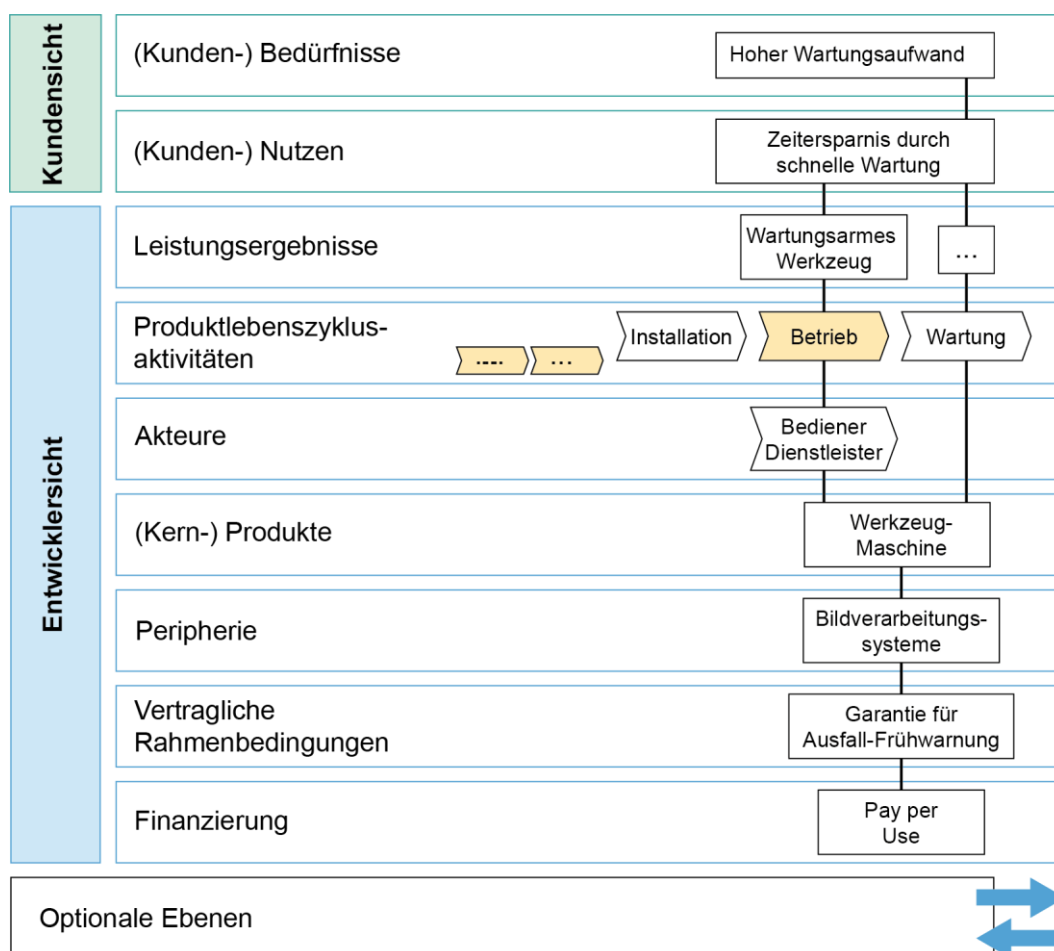


Bild 3-20: HLB-Layer Methode nach MÜLLER/STARK [SM12, S. 50] mit erweitertem Beispiel nach PEITZ [Pei15, S. 78]

Die Methode wird zur Spezifikation eines hybriden Leistungsbündels (HLB) auf Systemebene vorgeschlagen und soll die funktionale Systemarchitektur abbilden. In Anlehnung an den HLB-Entwicklungsprozess werden auf der Systemebene Aspekte des Geschäftsmodells abgebildet, wie Finanzierung und vertragliche Rahmenbedingungen. Die Dokumentation der Elemente erfolgt durch Diagramme, einfache Skizzen und kurze Prosatexte. Es wird ein iteratives Vorgehen vorgeschlagen, d.h. die schrittweise Verfeinerung und Verknüpfung der Elemente über die Schichten [Mül13, S. 164ff].

Die konkrete Anwendung kann in Workshops in Papierform oder rechnergestützt mithilfe eines Softwarewerkzeugs erfolgen. Aufbauend auf dem Layer-Modell wird ein Katalog mit Kriterien zur Abteilung von Anforderungen und der Konkretisierung der Systemarchitektur vorgeschlagen. Der Katalog enthält rund 100 Kriterien und entspricht der Logik der Layer-Methode, d.h. Kriterien adressieren alle Ebenen [Mül13, S. 196ff].

PEITZ zeigt die Anwendung und eine Modifikation der Layer-Methode. Es werden eine Technologiesicht integriert sowie die Beschreibung der Elemente mithilfe von Partialmodellen der modellbasierten Spezifikationstechnik CONSENS (vgl. Abschnitt 3.5.4) vorgeschlagen [Pei15, S. 127ff].

Bewertung: MÜLLER/STARK zeigen eine Methode zur Ideenfindung im Bereich hybrider Leistungsbündel. Die Ebenen spiegeln nicht die notwendigen Aspekte für Smart Services wider. Jedoch ähnelt das Prinzip dem Konzept von Swimlanes im Bereich der Prozessvisualisierung und die Ebenen können frei modifiziert werden. Dies ermöglicht zum einen die Integration weiterer Aspekte eines Entwicklungsgegenstands; es können technische als auch wirtschaftliche Aspekte abgebildet werden. Zum anderen kann die Methode mit modellbasierten Darstellungstechniken kombiniert werden, um die Architektur anschaulicher und besser erfassbar darzustellen. Die Anzahl der Schichten sollte jedoch begrenzt werden, da mit steigender Anzahl die Übersichtlichkeit sinkt.

3.5.2 Service Blueprinting nach SHOSTACK und EVERSHEIM et al.

Die Methode des Service Blueprinting geht auf SHOSTACK zurück, welche einen Ansatz zur modellbasierten Darstellung von Dienstleistungsprozessen durch Diagramme zeigt. Ein wichtiges Element der Methode ist die Sichtbarkeitslinie, welche für den Kunden sichtbare und unsichtbare Serviceaktivitäten voneinander trennt [Sho84]. Der Ansatz wurde durch Hinzufügen weiterer Linien und Diagramme vielfach modifiziert.

Eine verbreitete Modifikation stammt von BITNER et al., die eine Interaktionslinie sowie physische Objekte beschreiben [BOM07]. In Anlehnung an die servicedominante Logik (vgl. Abschnitt 2.3.1) betont die Interaktionslinie die Kundeneinbindung und damit Aktivitäten, welche der Kunde durchführt. Physische Objekte resultieren aus dem Modell des Servicescape, welches den Einfluss der Umgebung auf das Kundenverhalten und die

Beschreibungsmittel. Denkbar ist eine Ergänzung der Aktivitätsdiagramme durch Attribute, welche die Unterscheidung von physischen und digitalen Aktivitäten eines Smart Service ermöglicht. Darüber hinaus ermöglicht das Konzept der Interaktionslinie eine Potentialanalyse: Bestehende Kundenaktivitäten um ein Produkt können beschrieben und hinsichtlich einer Unterstützung durch Smart Services analysiert werden.

3.5.3 Objektorientierte Geschäftsprozessmodellierung (OMEGA)

OMEGA (Objektorientierte Methode zur Geschäftsprozessmodellierung und -analyse) wurde am Heinz Nixdorf Institut in Zusammenarbeit mit der UNITY AG entwickelt [FAH95], [GP14, S. 254ff], [GDE+19, S. 57ff]. Die Methode ermöglicht die Modellierung von Ablauforganisationen mithilfe einfacher und prägnanter Visualisierungen. Es werden Objekte der Aufbau- als auch der Prozessorganisation eines Unternehmens abgebildet, indem Organisationseinheiten zu Geschäftsprozessen zugeordnet werden. Die Methode nutzt eine Reihe von grafischen Notationen, welche in Bild 3-22 dargestellt sind.

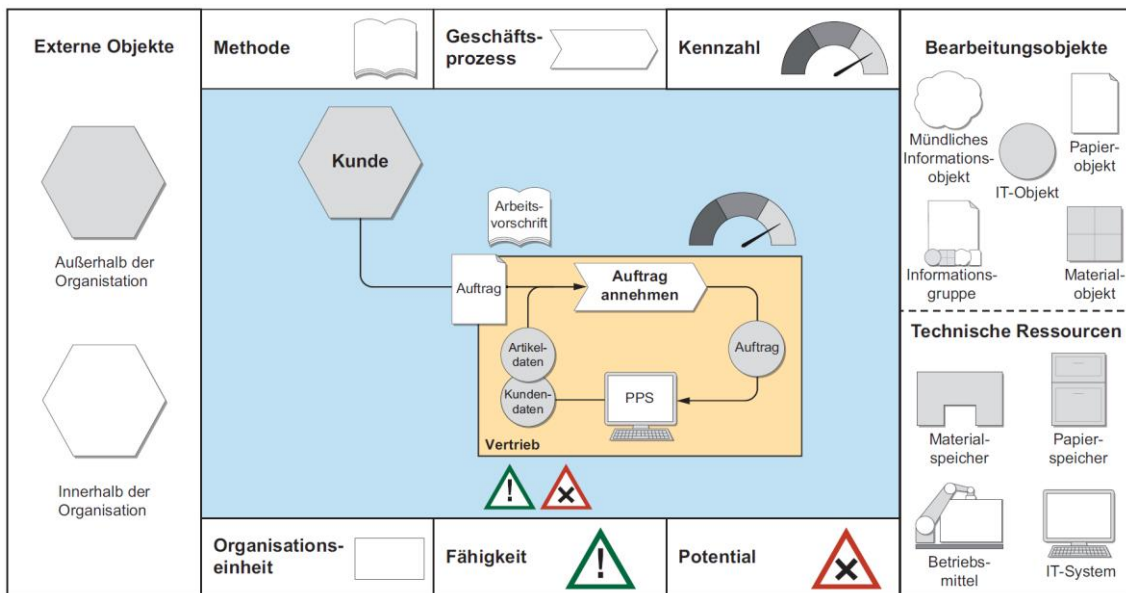


Bild 3-22: Überblick über die Konstrukte der Methode OMEGA [GP14, S. 254]

Ein Geschäftsprozess wird als eine Folge logisch zusammenhängender Aktivitäten beschrieben, welche zu einem Ereignis durch Veränderung eines Objekts führt (Transformation). Jeder Prozess besitzt einen definierten Anfang (Auslöser, Input) und ein definiertes Ende (Ergebnis, Output), welche jeweils durch Bearbeitungsobjekte dargestellt werden. Die Geschäftsprozesse werden von Organisationseinheiten umrandet, welche Stellen im Unternehmen repräsentieren (Abteilungen, Teams, Arbeitsplätze etc.), die den Prozess ausführen und verantworten. Externe Objekte stellen Schnittstellen der Prozesse zu internen und externen Organisationen dar. Methoden und technische Ressourcen unterstützen die Durchführung der Prozesse und Kennzahlen dienen dem Controlling und der Steuerung von Prozessen [GP14, S. 254ff].

Die Methode kann mithilfe von zwei Werkzeugen angewendet werden: Das erste Werkzeug ist ein Kartenset für die einzelnen Beschreibungsobjekte, welches zur Durchführung von Workshops zur Prozessaufnahme genutzt werden kann. Das zweite Werkzeug ist der OMEGA Process Modeller; ein Softwarewerkzeug, welches die digitale Abbildung von Prozessen ermöglicht [GP14, S. 268ff].

Bewertung: OMEGA ermöglicht eine modellbasierte Beschreibung von Geschäftsprozessen, deren Beschreibungskonstrukte die Analyse von bestehenden Prozessen fokussiert. Dennoch können neue Prozesse beschrieben werden, wie z.B. Serviceprozesse. Technische Ressourcen können die genutzten IT-Systeme beschreiben und Bearbeitungsobjekte die genutzten Daten. Wengleich der Abstraktionsgrad der Beschreibung variiert werden kann, eignet sich OMEGA mehr zur detaillierteren als zur abstrakten Beschreibung von Servicekonzepten. Die Beschreibung bestehender Kundenprozesse ermöglicht jedoch eine Potentialanalyse, indem Schwachstellen in Kundenprozessen mit Smart Services adressiert werden.

3.5.4 Aspektdiagramme der Spezifikationstechnik CONSENS

Die Spezifikationstechnik CONSENS (**CON**ceptual design **S**pecification technique for the **EN**gineering of complex **S**ystems) wurde zur modellbasierten Beschreibung von mechatronischen Systemen entwickelt [GDE+19, S. 418ff], [GLL12, S. 89ff]. Im Sinne des Model-based Systems Engineering kann mit dem Ansatz ein Systemmodell erstellt werden, welches ein mechatronisches System mit unterschiedlichen Aspekten abbildet (vgl. Abschnitt 2.5.2). Als Abstraktionsebene wird die Prinziplösung adressiert. Die Spezifikationstechnik enthält ein Set an Beschreibungsmitteln und ein Vorgehen zu deren Nutzung. Es können Produkte und zugehörige Produktionssysteme und Dienstleistungen beschrieben werden. Im Folgenden werden die Aspekte zur Beschreibung von Produkt- und Dienstleistungskonzepten beschrieben. Bild 3-23 zeigt die Aspekte zur Beschreibung des Produkts.

Die Analysephase der Produktkonzipierung wird durch drei Aspekte unterstützt. Der Aspekt Umfeld betrachtet das System als Blackbox und die Einbettung in das Umfeld. Es werden die Systemgrenze sowie Schnittstellen und Wechselwirkungen zum Umfeld definiert, wie z.B. Benutzer, andere Systeme oder die Umwelt. Zur Beschreibung der Schnittstellen und Wechselwirkungen werden Energie-, Informations- und Stoffflüsse unterschieden. Anwendungsszenarien beschreiben unterschiedliche Situationen und das geplante Verhalten des Systems entlang des Produktlebenszyklus. Die Szenarien werden durch Skizzen und Prosabeschreibungen in Steckbriefen dokumentiert. Anforderungen geben Ziele und Restriktionen für die geplante Lösung vor [GDE+19, S. 419ff].

Die Synthesephase der Produktkonzipierung wird ebenfalls durch drei Aspekte unterstützt. Funktionen sind die lösungsneutralen Beschreibungen von Aufgaben, welche das System erfüllen soll. Die Wirkstruktur beschreibt die prinzipielle Wirkungsweise des Systems und hängt eng mit dem Aspekt Umfeld zusammen. Das System wird in Elemente

zerlegt, welche mit den gleichen Beziehungen (Energie-, Informations- und Stoffflüsse) miteinander verbunden werden, um Wirkzusammenhänge darzustellen. Das Verhalten wird durch zwei Aspekte abgedeckt und bildet eine dynamische Systemsicht. In einem Zustandsdiagramm werden Zustände, Zustandsübergänge und auslösende Ereignisse beschrieben. In einem Aktivitätsdiagramm werden Ablaufprozesse beschrieben, welche in einem Zustand vollzogen werden [GDE+19, S. 419ff].

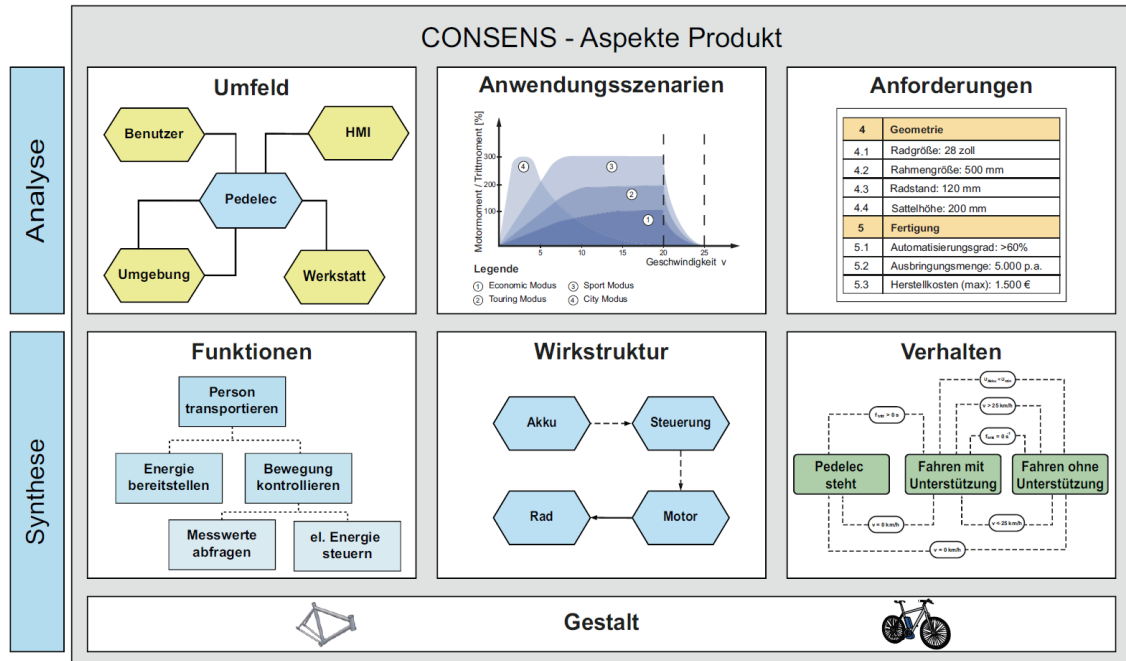


Bild 3-23: Produkt-Aspekte der Spezifikationstechnik CONSENS [GDE+19, S. 419]

Zur Beschreibung von Dienstleistungskonzepten sind drei Aspekte vorgesehen. Dienstleistungsprozesse werden mithilfe des Service Blueprintings dargestellt. Es wird eine Darstellung mit drei Ebenen vorgeschlagen: Kunden-, Onstage- und Backstage-Aktivitäten (vgl. Abschnitt 3.5.2). Der Aspekt Personal wird durch ein Personalprofil beschrieben, welches eine Tätigkeitsbeschreibung und notwendige Kompetenzen zur Ausführung der Aktivitäten beinhaltet. Die Darstellung erfolgt in Steckbriefen. Der Aspekt Werkzeuge beschreibt materielle und immaterielle Ressourcen, welche zur Ausführung der Aktivitäten notwendig sind. Die Dokumentation erfolgt ebenfalls in Profilen in Form von Steckbriefen [GDE+19, S. 425ff].

Bewertung: CONSENS ermöglicht eine modellbasierte Systembeschreibung von mechatronischen Systemen und Dienstleistungen auf Konzeptebene. Eine daten-orientierte Sicht kann in den Aspekten Wirkstruktur und Umfeld realisiert werden, indem lediglich Informationsflüsse zwischen Systemelementen dargestellt werden. Darüber hinaus kann eine Potentialanalyse erfolgen: Mithilfe der Aspekte Anwendungsszenarien und Serviceprozesse kann die aktuelle Marktleistung hinsichtlich Kundenaktivitäten analysiert werden, welche mit Smart Services adressiert werden. Mithilfe des Aspekts Umfeld können vorhandene Daten im Umfeld des Systems identifiziert werden.

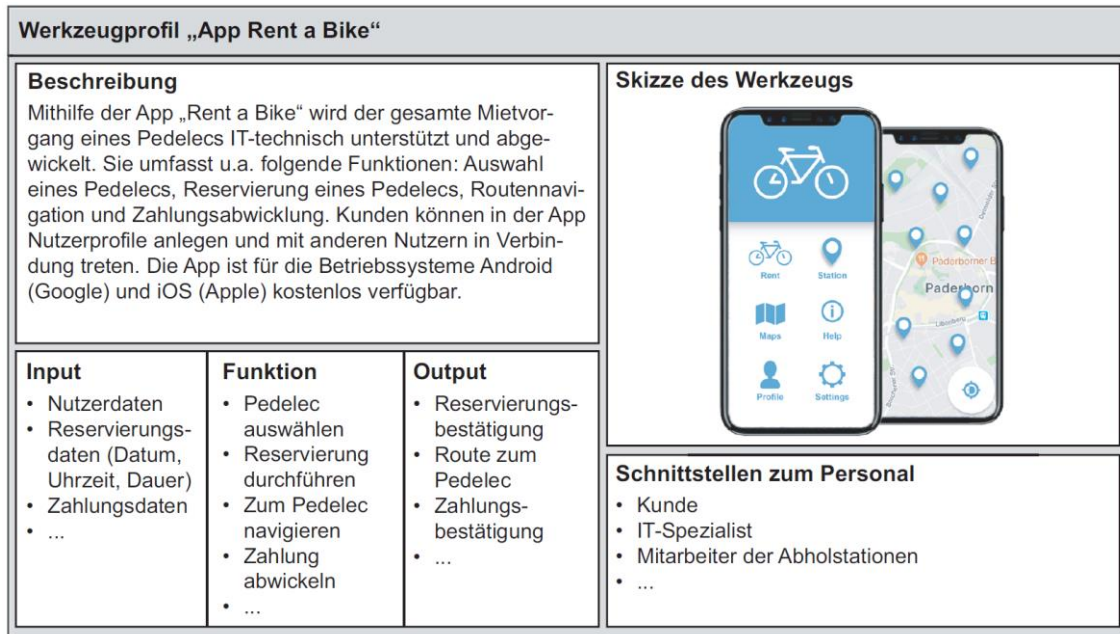


Bild 3-24: Werkzeugprofil als Teil eines Dienstleistungskonzepts [GDE+19, S. 428]

3.5.5 Smart Service Canvas nach PÖPPELBUß/DURST

PÖPPELBUß/DURST zeigen mit der Smart Service Canvas einen Ansatz zur Beschreibung und Analyse von Smart Service-Geschäftsmodellen [PD17]. Der Ansatz orientiert sich an der Business Model Canvas nach OSTERWALDER/PIGNEUR [OP11] und kann als Kreativitätsmethode in z.B. Workshops genutzt werden. Bild 3-25 zeigt die Canvas mit den drei Bereichen Wertschöpfungs-, Kunden- und Ökosystemsicht sowie ein Bereich zur Beschreibung des Fit zwischen den Sichten.

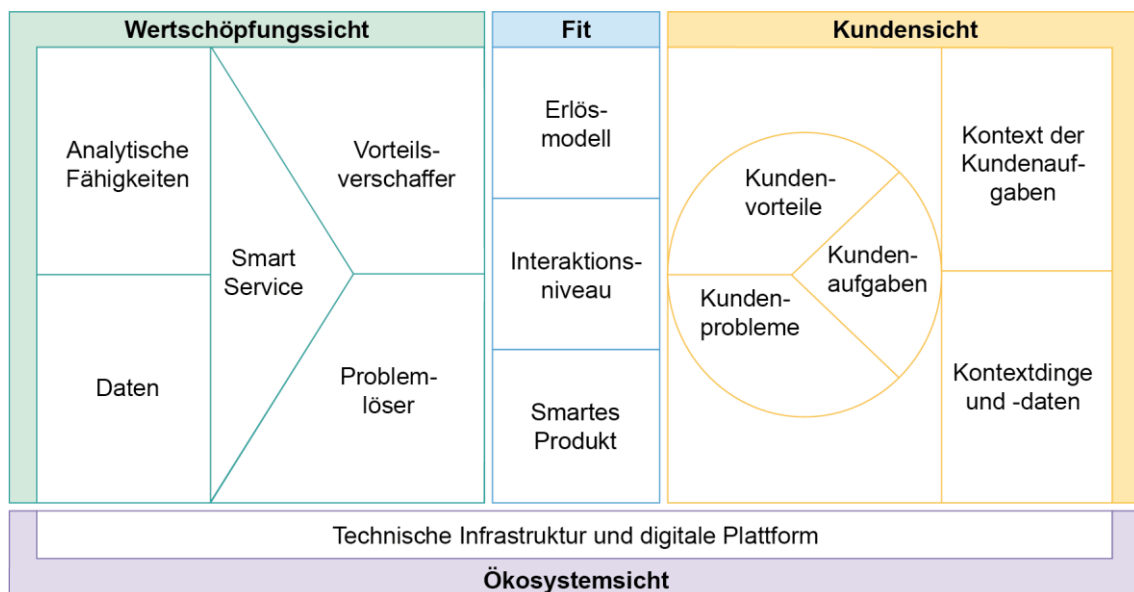


Bild 3-25: Smart Service Canvas nach PÖPPELBUß/DURST [PD17, S. 97]

Die Kundensicht beschreibt ein spezifisches Kundensegment durch ein Kundenprofil und dessen Kontext. Kundenaufgaben sind Tätigkeiten bei denen Vorteile entstehen können, die Kunden erfreuen, und Probleme auftreten. Der Kontext der Kundenaufgabe soll Voraussetzungen beschreiben: Vor- und nachgelagerte Tätigkeiten, örtliche Umgebung und notwendige Interaktionen mit Personen und Systemen. Kontextdinge und -daten können zur Datenerhebung und -analyse genutzt werden [PD17, S. 97ff].

Die Wertschöpfungssicht umfasst eine Valuemap, sowie analytische Fähigkeiten und Daten. Die Valuemap beschreibt im Sinne der Value Proposition Canvas das Wertversprechen an den Kunden und besteht aus einer Beschreibung, wie ein Smart Service Vorteile erzeugt und Probleme löst. Im Feld Daten sollen Art und Quelle beschrieben werden und im Feld analytische Fähigkeiten notwendige Kompetenzen und Infrastrukturen zur Datenanalyse. Als wesentlich wird die Entscheidung beschrieben, ob die Datenverarbeitung im smarten Produkt oder in einer zentralen Infrastruktur (z.B. einer Cloud) erfolgen soll [PD17, S. 99ff].

Die Ökosystemsicht umfasst die technische Infrastruktur, dessen zentrales Element eine digitale Plattform ist. Weitere Elemente sind smarte Produkte sowie notwendige Netzanbindung, Stromversorgung und Mobilfunknetzabdeckung. Darüber hinaus sollen im Bereich der digitalen Plattform Markt- und Governance Mechanismen beschrieben werden, wie beispielsweise der Zugang zur gewählten Plattform [PD17, S. 101].

Durch die Fit-Sicht wird die Passung zwischen den Elementen der anderen Sichten beschrieben. Im Feld Smartes Produkt werden Endgeräte beschrieben, welche die Kundenschnittstelle bilden. Das Interaktionsniveau beschreibt das Zusammenspiel von Anbieter und Kunde sowie den Automatisierungsgrad des Service. In Anlehnung an die Smart Service Interactivity Matrix nach WÜNDERLICH können hierfür vier Archetypen beschrieben werden (vgl. Abschnitt 2.4.1) [WWB12, S. 5]. Im Feld Erlösmodell erfolgt eine Beschreibung der Einnahmequellen [PD17, S. 101ff].

Bewertung: PÖPPELBUß/DURST zeigen einen Ansatz, welcher sich zur Ideenfindung für Smart Services eignet. In Anlehnung an die Business Model Canvas entsteht eine Übersicht der geplanten Marktleistung, welche das Systemdenken anregt. Die Felder können gedanklich miteinander verbunden und aufeinander abgestimmt werden. Die Beschreibung des Kontexts und verfügbarer Daten ermöglicht eine Potentialanalyse für ein bestehendes Produkt. Ähnlich wie bei der Business Model- und Value Proposition Canvas fehlen zu einer präziseren Beschreibung Tracelinks zwischen den Elementen. Nur so ist eine systematische Vorgehensweise möglich, welche bei komplexen Systemen bereits in der Ideenfindung notwendig ist und die Kreativität nicht einschränkt. Darüber hinaus ist eine präzisere Darstellung der Datenanalyse notwendig, d.h. wie aus Daten schließlich Informationen werden.

3.6 Bewertung und Handlungsbedarf

In Kapitel 3 wurde jeder beschriebene Ansatz anhand der in Abschnitt 2.7 abgeleiteten Anforderungen bewertet. Im Folgenden erfolgt eine Bewertung je Anforderung. Bild 3-26 zeigt eine direkte Gegenüberstellung der Anforderungen und den betrachteten Ansätzen.

A1) Interdisziplinäre Referenzarchitektur

Die Definition des Entwicklungsgegenstands in Form einer Referenzarchitektur bildet die Basis für die zu entwickelnde Systematik. PORTER/HEPPELMANN und FLEISCH et al. beschreiben den technischen Aufbau von Vernetzung und Datenanalyse, verbleiben jedoch auf einem Abstraktionsniveau, welches sich nicht für eine Konzipierung eignet. Das Schichtenmodell nach KÜHN et al. erfüllt die Anforderungen an eine ausreichende Detaillierung, deckt jedoch nur den Bereich Datenanalyse ab. BEVERUNGEN et al. fokussieren die Darstellung der servicedominanten Logik und BULLINGER et al. vernachlässigen das technische System als Basis für Services. Die gezeigten Referenzarchitekturen von verwandten Technologiekonzepten besitzen eine Reihe von Analogien, werden jedoch nicht ausreichend detailliert definiert.

A2) Modellbasierte Systembeschreibung

Unter den gezeigten Referenzarchitekturen berücksichtigen lediglich KÜHN et al. eine entsprechende Darstellung vollumfänglich. Die beschriebenen Ansätze zur modellbasierten Darstellung von Marktleistungen ermöglichen anschauliche und visuell einfach erfassbare Systembeschreibungen. STARK et al. fokussieren die Ideenfindung auf hohem Abstraktionsniveau, während der Ansatz OMEGA eine detaillierte Darstellung von Geschäfts- bzw. Serviceprozessen ermöglicht. PÖPPELBUß/DURST verzichten auf eine Beschreibung von Tracelinks zwischen den Elementen, welche jedoch für komplexe Systeme wichtig sind. Das Service Blueprinting nach EVERSHEIM ermöglicht die Darstellung von Verhaltensaspekten für die Serviceerbringung und der Ansatz CONSENS die Beschreibung von Strukturaspekten des zugrundeliegenden mechatronischen Systems.

A3) Datenorientierte Architektursicht

Die Umwandlung von Daten in Informationen mithilfe von Datenanalyse soll in einer datenorientierten Architektursicht dargestellt werden. PORTER/HEPPELMANN als auch FLEISCH et al. fokussieren in ihren Technologiekonzepten die Logik der Datenanalyse, welche jedoch nicht direkt auf konkrete Fälle übertragbar ist. KÜHN et al. hingegen zeigen eine daten-orientierte Sicht auf ein System in Form einer Strukturdarstellung, welche den Ist- und Soll-Zustand abbildet. Mit den Ansätzen OMEGA und CONSENS können Informations- und Datenflüsse sowie Datenträger (Bearbeitungsobjekte) beschrieben werden. PÖPPELBUß/DURST greifen den Aspekt von Daten im Kontext des Systems durch ein Feld in der vorgeschlagenen Canvas auf.

4) Technisches und wirtschaftliches Lösungswissen

Lösungswissen soll zur Eingrenzung des Lösungsraums, Inspiration und Orientierung dienen. Insgesamt wurden vier Übersichten mit Lösungswissen für Industrie 4.0, Cyber-Physical Systems, Ertragsmodelle und IoT-Anwendungen betrachtet. Die Übersichten enthalten in Kombination technisches und wirtschaftliches Lösungswissen, welches für Smart Services relevant ist. Es ist eine Auswahl, Kombination und Ergänzung notwendig, um die Anforderung vollumfänglich zu erfüllen. WESTERMANN zeigt darüber hinaus die Verknüpfung von Lösungswissen mit Elementen einer Referenzarchitektur. Damit ist der Ansatz im Bereich eines mechatronischen Systems relevant für die vorliegende Arbeit.

A5) Darstellung und Strukturierung von Lösungswissen

Das Lösungswissen ist in geeigneter Weise darzustellen und zu strukturieren, um es zur Konzipierung von Smart Services einzusetzen. Die Übersichten mit Lösungswissen für Smart Services zeigen bereits anschauliche Darstellungen und Möglichkeiten der Strukturierung. Die Ansätze zur Strukturierung von Lösungswissen können daher adaptiert werden. Hervorzuheben ist der Ansatz nach KÖCKERLING, welcher auf Lösungswissen aus einem morphologischen Kasten aufbaut und zusätzlich den Lösungsraum eingrenzen kann. STOLL zeigt, wie der Ansatz in eine Systematik zur Konzipierung von Produkt-Service-Systemen eingebunden werden kann.

A6) Identifikation von Daten

Im Umfeld des bestehenden Systems sollen relevante und bereits verfügbare Daten identifiziert werden, um diese für Smart Services zu nutzen. Keiner der betrachteten Ansätze kann diese Anforderungen voll erfüllen. Lediglich der Ansatz nach KÜHN et al. ermöglicht durch Darstellung der Datenverarbeitung auch die Identifikation von Daten, wobei der Suchradius auf einen Datenanalyse-Anwendungsfall beschränkt ist. Das Aspektdiagramm Umfeld der Spezifikationstechnik CONSENS ermöglicht eine Identifikation von Daten im Umfeld eines mechatronischen Systems, wenn der Ansatz modifiziert wird. Die Diagramme und Flüsse können auf die Darstellung von Daten bzw. Datenquellen reduziert werden, um eine fokussierte, daten-orientierte Sicht zu erzeugen.

A7) Potentiale des bestehenden Systems

Die Systematik muss die technischen und wirtschaftlichen Potentiale eines bestehenden Systems berücksichtigen. Nahezu alle betrachteten Ansätze ermöglichen zumindest teilweise eine Potentialanalyse, wenngleich unterschiedliche Ziele verfolgt oder Bereiche betrachtet werden. Der Ansatz nach STOLL zeigt eine Kombinationsmatrix zur Analyse der Verträglichkeit von Potentialen, welche ebenfalls zur Strukturierung von Lösungswissen genutzt werden kann. Als Hilfsmittel zur Potentialanalyse sind alle Ansätze zur modellbasierten Darstellung von Marktleistungen geeignet, welche unterschiedliche Schwerpunkte legen.

A8) Systematisches Vorgehen

Ein systematisches und reproduzierbares Vorgehen muss die Bestandteile der zu erarbeitenden Systematik zusammenführen. Den betrachteten Referenzarchitekturen fehlt bis auf KÜHN et al. an einem Vorgehen, welches die Nutzung der Aspekte der Architektur zeigt. Die vorgestellten Ansätze zur Konzipierung von Produkt-Service-Systemen bieten zwar eine systematische und reproduzierbare Vorgehensweise, decken dabei aber nur Teilaspekte der Konzipierung von Smart Services ab. Eine umfassende Vorgehensweise existiert nicht. Darüber hinaus ist die Praktikabilität einiger Ansätze auf Grund ihrer Komplexität zweifelhaft.

A9) Anwendungsfokus mechatronische Systeme

Die Systematik soll das produzierende Gewerbe fokussieren und als Ausgangssituation ein physisches Produkt annehmen, bei dem es sich um mindestens ein einfaches mechatronisches System handelt. Die Anforderung wird von nahezu allen Ansätzen zumindest teilweise erfüllt. Bei der Nutzung von Ansätzen in der vorliegenden Arbeit sind entsprechende Anpassungen vorzunehmen.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass keiner der untersuchten Ansätze alle Anforderungen aus Abschnitt 2.7 vollständig erfüllt. Auch eine triviale Kombination der Ansätze wird den Anforderungen nicht im vollen Umfang gerecht. Entscheidende Defizite liegen in einer fehlenden Referenzarchitektur, welche der Grundidee von Smart Services trägt und dem Abstraktionsniveau eines Konzepts gerecht wird. Die Vorgehen zur Konzipierung berücksichtigen ebenfalls nicht die erforderlichen Aspekte. Es besteht somit dringender Handlungsbedarf, eine Systematik zur Konzipierung von Smart Services für mechatronische Systeme zu entwickeln.




















































































































































































Bewertung der untersuchten Ansätze hinsichtlich der gestellten Anforderungen Fragestellung: Wie gut erfüllen die untersuchten Ansätze (Zeile) die gestellten Anforderungen (Spalte) an die Systematik zur Konzipierung von Smart Service für mechatronische Systeme? Bewertungsskala:  = nicht erfüllt  = teilweise erfüllt  = voll erfüllt		Anforderungen								
		Interdisziplinäre Referenzarchitektur	Modellbasierte Systembeschreibung	Daten-orientierte Architektursicht	Technisches und wirtschaftliches Lösungswissen	Darstellung und Strukturierung von Lösungswissen	Identifikation von Daten	Potentiale des bestehenden Systems	Systematisches Vorgehen	Anwendungsfokus mechatronische Produkte
		A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9
Referenzarchitekturen für Technologiekonzepte	Technology Stack nach PORTER/HEPPELMANN									
	IoT-Wertschöpfungsstufen nach FLEISCH et al.									
	Schichtenmodell für Data Analytics nach KÜHN et al.									
	Smart Service-Architektur nach BEVERUNGEN et al.									
	Rahmenkonzept für Smart Services nach BULLINGER et al.									
Lösungswissen f. Smart Services	Baukasten für Industrie 4.0 nach ANDERL/FLEISCHER									
	Leistungsstufen von Cyber-Physical-Systems nach WESTERMANN									
	Ertragsmodelle im Internet der Dinge nach WORTMANN et al.									
	IoT-Stack nach ALLMENDIGER/HABOUR RESERACH									
Strukturierung von Lösungswis.	Ordnungsschemata in der Konstruktionslehre									
	Verträglichkeitsanalyse nach KÖCKERLING									
	Komplexitätsmanagement nach LINDEMANN/MAURER									
Vorgehen zur Konzipierung von PSS	Planung und Konzipierung von Marktleistungen nach STOLL									
	HLB Entwicklungsprozess nach STARK/MÜLLER									
	Entwicklung von Smart Services nach BULLINGER et al.									
	Aachener Smart Service Engineering Zyklus nach STICH et al.									
Modell-basierte Darstellung von Marktleistungen	Wissensorientierte Entwicklung von PSS nach SCHENKL									
	IPSS Layer Methode nach STARK et al.									
	Service Blueprinting nach SHOSTACK und EVERSHEIM et al.									
	Objektorientierte Geschäftsprozessmodellierung (OMEGA)									
	Spezifikationstechnik CONSENS									
Smart Service Canvas nach PÖPPELBUß/DURST										

Bild 3-26: Bewertung Stand der Technik

4 Systematik zur Konzipierung von Smart Services für mechatronische Systeme

Dieses Kapitel bildet den Kern der vorliegenden Arbeit und stellt die *Systematik zur Konzipierung von Smart Services für mechatronische Systeme* vor. Die Systematik hat den Anspruch, die in der Problemanalyse identifizierten Nutzenpotentiale und Herausforderungen zu adressieren (vgl. Abschnitt 2.6) und die gestellten Anforderungen (vgl. Abschnitt 2.7) zu erfüllen.

Abschnitt 4.1 veranschaulicht die Grundidee der Systematik und gibt einen Überblick über dessen Bestandteile. Abschnitt 4.2 zeigt die entwickelte Referenzarchitektur für Smart Services als Definition des Entwicklungsgegenstands. Abschnitt 4.3 zeigt Referenzbausteine, welche Lösungswissen für die Konzipierung beschreiben. Abschnitt 4.4 veranschaulicht zwei Werkzeuge, welche die Anwendung der Referenzbausteine und eine Potentialanalyse für bestehende Systeme ermöglichen. Abschnitt 4.5 beschreibt durch ein Vorgehensmodell die Anwendung der Bestandteile zur Konzipierung von Smart Services.

4.1 Grundidee und Überblick über die Systematik

Ziel der Systematik sind Konzepte für Smart Services, welche auf bestehenden Produkten aufbauen, bei denen es sich um mechatronische Systeme handelt. Zielgruppe der Systematik sind Innovations- und Produktmanager sowie Systemarchitekten, welche die Potentiale von Smart Service für ihre Produkte erschließen wollen. Grundidee ist die Konzipierung von Smart Services im Spannungsfeld der strategischen Planung und technischen Entwicklung, da sich Nutzenpotentiale und Herausforderungen aus Technologie- und Markteinflüssen ergeben, wie in Bild 4-1 dargestellt.

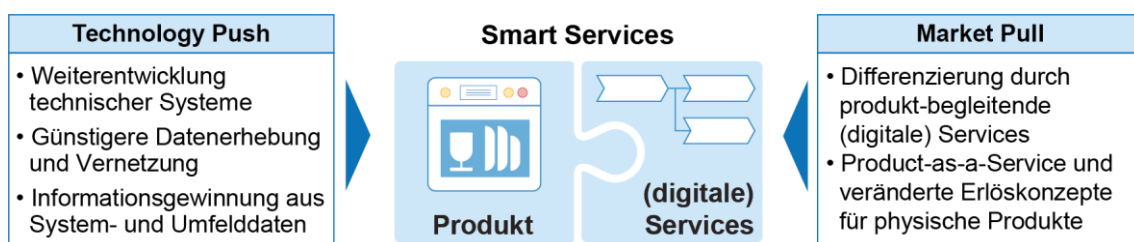


Bild 4-1: Konzipierung von Smart Services für mechatronische Systeme zwischen Technologie- und Markteinflüssen

Technologieeinflüsse befähigen Unternehmen, ihre Produkte zu vernetzen, Daten zu sammeln und darauf aufbauende Smart Services anzubieten (Technology Push). Markteinflüsse zwingen Unternehmen sich mit Smart Services zu differenzieren und damit verbunden ihr Geschäftsmodell zu innovieren (Market Pull). Ein Beispiel ist die Vernetzung einer gewerblichen Spülmaschine (Produkt), welche durch eine zentrale Datenanalyse einen bevorstehenden Ausfall erkennt und einen Serviceauftrag auslöst (digitaler Service), um eine Wartung der Maschine vor dem Ausfall durchzuführen (physischer Service). Der

Kunde zahlt einen monatlichen Pauschalbetrag für die gesteigerte Verfügbarkeit und der Anbieter senkt die Kosten für Reparaturen und Wartung. Die ursprüngliche Marktleistung verändert sich nicht grundlegend (Spülmaschine und Wartung), kann aber durch den digitalen Service zu einer Differenzierung vom Wettbewerb führen.

Die entwickelte Systematik adressiert die beschriebenen Einflüsse und betroffenen Bestandteile der Marktleistung durch eine Kombination von Methoden der strategischen Planung und des Systems Engineering. Bild 4-2 zeigt die Systematik und dessen Bestandteile in der Übersicht, welche im Folgenden detailliert vorgestellt werden.

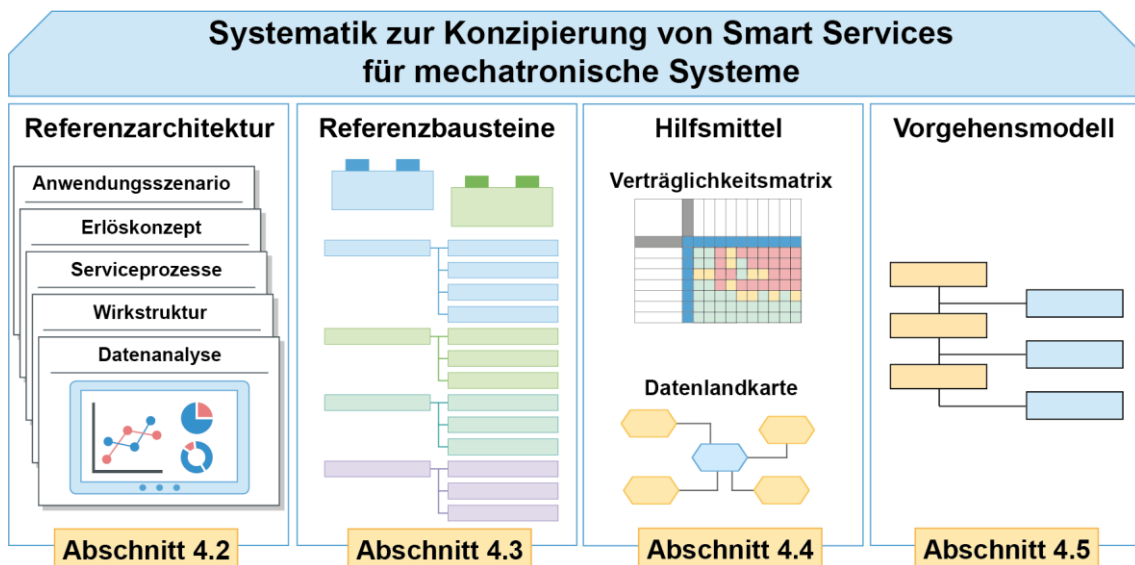


Bild 4-2: Bestandteile der Systematik der vorliegenden Arbeit

Die **Referenzarchitektur** definiert den Entwicklungsgegenstand. Es werden fünf Entwicklungsgesichtspunkte vorgeschlagen, die bei der Konzipierung von Smart Services zu berücksichtigen sind. Aspekte und zugehörige Darstellungstechniken ermöglichen die fokussierte Betrachtung der Gesichtspunkte. Aspektübergreifende Verknüpfungen definieren Wechselwirkungen, um gesamtheitliche, konsistente Konzepte abzubilden.

Referenzbausteine bilden Lösungswissen für die einzelnen Aspekte ab und zeigen die Möglichkeiten von Smart Services. Die Bausteine dienen Systemarchitekten zur Inspiration und Orientierung bei der Spezifikation der Aspekte bzw. eines Konzepts. Jeder Baustein ist durch einen Steckbrief übersichtlich und leicht erfassbar dokumentiert.

Zwei **Hilfsmittel** unterstützen die Konzipierung. Eine Verträglichkeitsmatrix zeigt konsistente Paare von Referenzbausteinen, um den Lösungsraum einzuschränken. Eine Datenlandkarte dient der Identifikation verfügbarer Daten und Schnittstellen um das bestehende Produkt, welche in die Konzipierung miteinbezogen werden.

Ein **Vorgehensmodell** zeigt die Anwendung der Bestandteile der Systematik. Ziel des Vorgehensmodells sind Konzepte für Smart Services, welche auf einem bestehenden, mechatronischen System basieren.

4.2 Referenzarchitektur

Ziel der Referenzarchitektur sind Aspekte und Darstellungstechniken, welche den Entwicklungsgegenstand in geeigneter Weise beschreiben, um ihn zu analysieren und zu konzipieren. Darüber hinaus wird veranschaulicht, wie bei der Konzipierung der Aspekte unter Nutzung der Darstellungstechniken vorzugehen ist.

Ein Aspekt ist die fokussierte Beschreibung eines Gesichtspunkts des zu entwickelnden Systems, welches abhängig von Fortschritt und Verlauf der Entwicklung konkretisiert wird [Kal98, S. 90ff]. Die Gesichtspunkte lassen sich in Form von Entwicklungsfragen beschreiben, welche durch ein Konzept beantwortet werden müssen. Die Entwicklungsfragen für Smart Services resultieren aus den in der Problemanalyse abgeleiteten Nutzenpotentialen und Herausforderungen (vgl. Abschnitt 2.6). Bild 4-3 zeigt die Entwicklungsfragen, Aspekte und Darstellungstechniken für Smart Services.

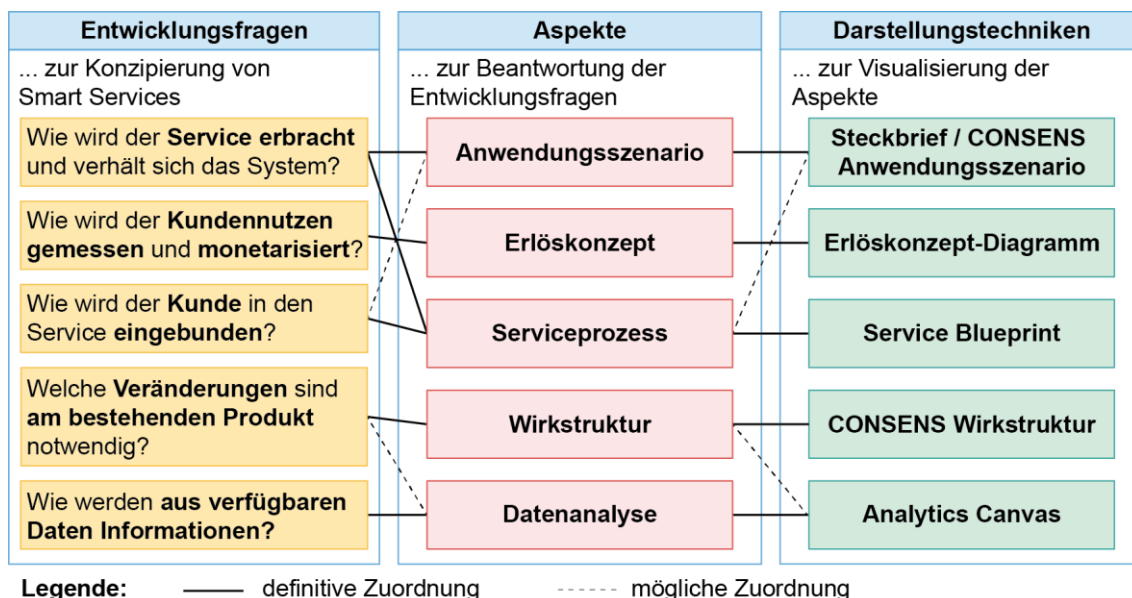


Bild 4-3: Entwicklungsfragen, Aspekte und Darstellungstechniken in Anlehnung an TSCHIRNER [Tsc16, S. 97] zur Konzipierung von Smart Services

Eine definitive Zuordnung von Elementen bedeutet, dass ein Aspekt eine Entwicklungsfrage beantworten muss bzw. eine Darstellungstechnik ein Aspekt visualisieren muss. Eine mögliche Zuordnung bedeutet, dass definitiv zugeordnete Aspekte oder Darstellungstechniken ergänzt werden.

Das Anwendungsszenario soll eine Idee spezifizieren und die Fragen nach Serviceerbringung, Systemverhalten und Nutzerinteraktion auf einem höheren Abstraktionsniveau als der Serviceprozess beantworten. Der Aspekt Erlös-konzept soll die Fragen nach Messung und Monetarisierung des Kundennutzens beantworten und bildet die Schnittstelle zur detaillierteren Geschäftsmodellplanung, welche nicht Teil der Systematik ist. Der Aspekt Serviceprozess beschreibt im Wesentlichen die Serviceerbringung und nur teilweise das Systemverhalten, wodurch der Begriff Prozess statt Verhalten gewählt wurde. Die

Wirkstruktur beschreibt das zugrundeliegende Produkt, Veränderungen an der Hardware (z.B. neue Sensorik) sowie notwendige Schnittstellen zu Nutzern und zentralen IT-Systemen. Die Datenanalyse ist eine abstrakte Beschreibung der Generierung von Informationen aus Daten des Produkts im Verbund mit anderen Systemen. Bild 4-4 zeigt die Referenzarchitektur in der Übersicht.

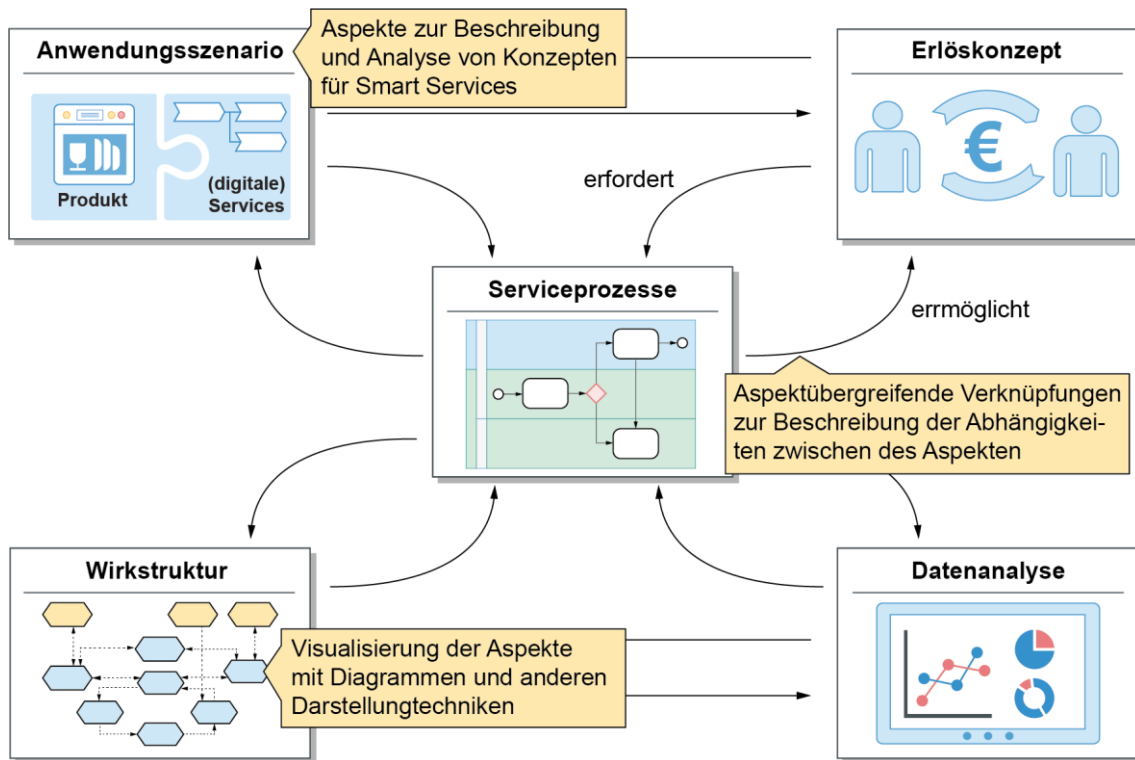


Bild 4-4: Übersicht der Aspekte der Referenzarchitektur zur Konzipierung von Smart Services [RAK+18]

Die Architektur soll eine ganzheitliche Betrachtung von Smart Services ermöglichen, weshalb aspektübergreifende Verknüpfungen die Aspekte in Beziehung setzen – so erfordert z.B. ein Erlös-konzept entsprechende Serviceprozesse bzw. ein bestehender Serviceprozess ermöglicht bestimmte Erlös-konzepte. Im Folgenden werden die Aspekte im Detail beschrieben, darauf aufbauend die Darstellungstechniken und deren Nutzung erläutert sowie die aspektübergreifenden Verknüpfungen gezeigt. Der Aspekt Serviceprozess steht im Mittelpunkt, da die Verknüpfungen in diesem Aspekt zusammenlaufen. Zur Anschauung erfolgt die Beschreibung von Smart Services für eine gewerbliche Spülmaschine. In Kapitel 5 wird die Systematik anhand des Beispiels vollständig angewendet.

4.2.1 Anwendungsszenario

Der Aspekt Anwendungsszenario beschreibt die Ausgangssituation und Serviceideen auf Basis des bestehenden Produkts. Es dient zum initialen Verständnis des zu lösenden Problems, der Serviceerbringung und des Systemverhaltens. Bild 4-5 zeigt die Darstellung in

Form eines Steckbriefs in Anlehnung an das gleichnamige Partialmodell Anwendungsszenario der Spezifikationstechnik CONSENS [GLL12, S. 92f].

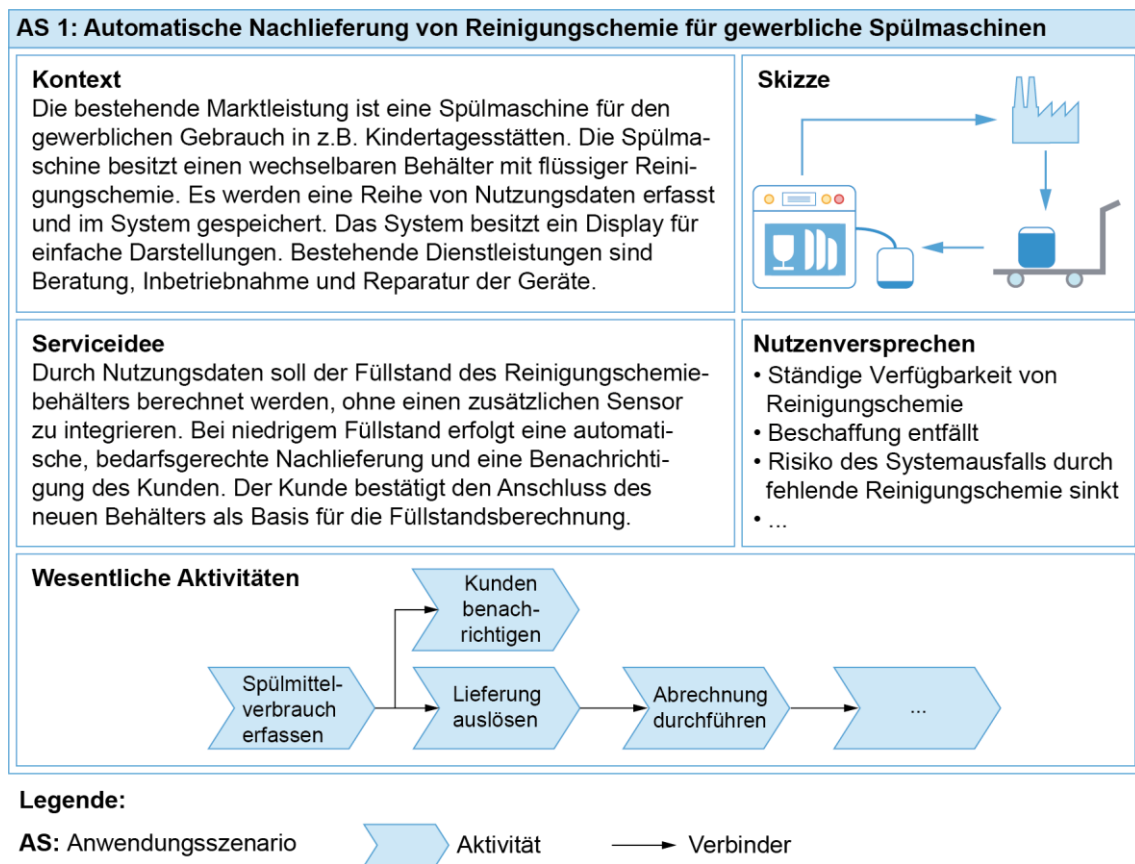


Bild 4-5: Anwendungsszenario am Beispiel einer automatischen Nachlieferung von Reinigungschemie für gewerbliche Spülmaschinen

Kontext: Die Konzipierung erfolgt auf Basis eines mechatronischen Systems als bestehendes Produkt, welches zusammen mit bereits bestehenden Dienstleistungen den Kontext bildet. Die Funktionalität des Systems bildet eine wesentliche Randbedingung zur weiteren Konzipierung, wie z.B. Funktionen zur Datenerhebung durch Sensorik oder Vernetzung mit anderen Systemen.

Serviceidee: Die grundsätzliche Problemlösung wird durch die Serviceerbringung beschrieben, welche sich auf Aktivitäten durch Personen als auch des technischen Systems bezieht. Weitere relevante Informationen sind notwendige Daten, Vernetzung mit weiteren Systemen sowie Interaktion mit Nutzern und anderen Personen.

Wesentliche Aktivitäten: Als Ergänzung zur Beschreibung der Idee in Prosa, werden die wesentlichen Aktivitäten der Serviceerbringung definiert und in eine Reihenfolge gebracht. Sie sind der Input für die detaillierte Beschreibung der Serviceprozesse.

Nutzenversprechen: Das Nutzenversprechen beschreibt, wie die Ideen Gewinne für den Kunden erzeugen oder Probleme lösen. So wird sichergestellt, dass nur Serviceideen weiterverfolgt werden, welche eine Zahlungsbereitschaft e Kunden auslösen können.

4.2.2 Erlös-konzept

Das Erlös-konzept beschreibt, wie das Nutzenversprechen einer Marktleistung dem Kunden verrechnet wird [ZA10, S. 218]. Ein wesentliches Element ist der Erlösmechanismus, der auch als Abrechnungslogik bezeichnet wird. Der Erlösmechanismus beschreibt, wie der Preis einer Marktleistung berechnet wird und kann aus unterschiedlichen Variablen und Parametern bestehen [WBW+17, S. 6], [Wir11, S. 141]. Der Aspekt Erlös-konzept ist Teil der Referenzarchitektur, da Smart Services die Umsetzung von serviceorientierten Erlös-konzepten attraktiver gestalten und individuellen Preismechanismen ermöglichen (z.B. Abrechnung pro produziertes Teil) [Sim17, S. 266f], [WBW+17, S. 9].

Bei serviceorientierten Erlös-konzepten orientiert sich der Preis am Erfolg der Serviceerbringung, d.h. dem Kundennutzen. Hierzu muss das Nutzenversprechen messbar werden (z.B. eine höhere Verfügbarkeit durch einen Wartungsvertrag) und der Preis am Grad der Erfüllung gekoppelt werden (z.B. Zahlung pro verfügbarer Maschinenstunde). Bei der Konzipierung muss berücksichtigt werden, welche Nutzenversprechen durch einen Service entstehen, wie diese durch Systemdaten messbar werden und welche Erlösmechanismus eine Abrechnung ermöglichen.

Ein Erlös-konzept setzt sich aus unterschiedlichen Erlöselementen zusammen. In Anlehnung an SADEK/STEVEN lassen sich für Smart Services folgende, relevante Typen von Erlöselementen zusammenfassen [SS10, S. 247]:

- 1) **Fixe Erlöselemente (E_{fix})** sind Pauschalpreise, wie z.B. ein einmaliger Betrag oder eine monatliche Gebühr für die unbegrenzte Nutzung des Service.
- 2) **Input-orientierte Erlöselemente (E_{in})** verrechnen den Umfang der zur Verfügung gestellten Leistung durch den Service, wie z.B. Anzahl und Menge automatischer Nachlieferungen von Verbrauchsmitteln oder die Laufzeit einer Maschine.
- 3) **Output-orientierte Erlöselemente (E_{out})** verrechnen das durch den Service erzeugte Ergebnis, wie z.B. Reinigungsgrad des Spülguts oder gesenkter Energieverbrauch. Die Elemente können bei Verfehlen von Zielen auch den Preis reduzieren.

Ein Erlös-konzept kann mehrere Nutzenversprechen verrechnen und in einem Erlösmechanismus kombinieren. Zu dessen Konzipierung müssen mögliche Nutzenversprechen identifiziert, ausgewählt und darauf aufbauend ein Erlösmechanismus definiert werden [WBW+17, S. 6]. Darüber hinaus müssen Daten identifiziert werden, mit denen die Erlöselemente realisiert werden können. Bild 4-6 zeigt das Erlös-konzept-Diagramm, welches das Vorgehen strukturiert und das Erlös-konzept darstellt.

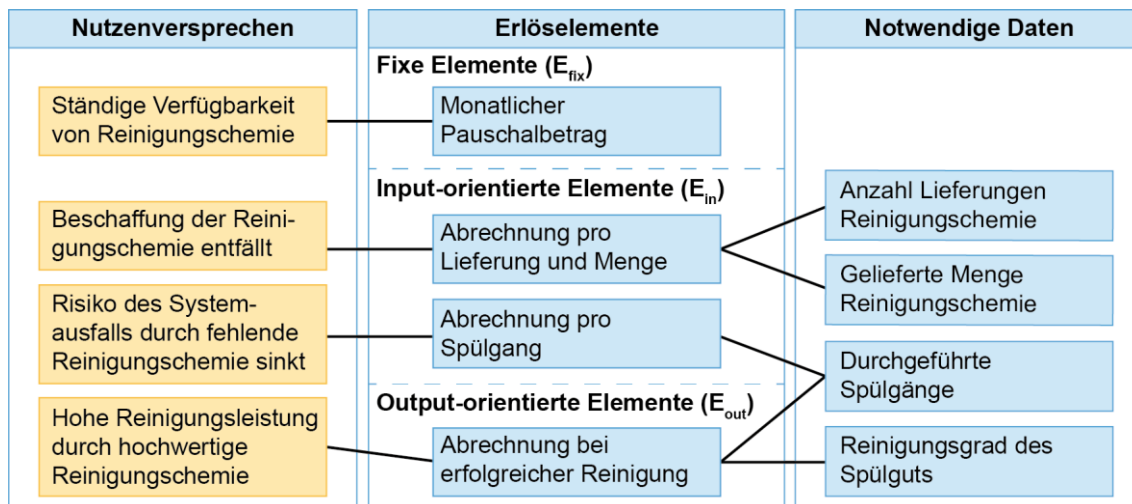


Bild 4-6: Erlös-konzept-Diagramm am Beispiel der automatischen Nachbestellung von Reinigungschemie für eine Spülmaschine

Für jedes Nutzenversprechen muss ein Erlöselement identifiziert werden, welches dessen Verrechnung ermöglicht. Den Erlöselementen müssen Daten zugeordnet werden, welche eine Verrechnung ermöglichen. Jedes Erlöselement ist eine mathematische Funktion, die die Verrechnung beschreibt, wie z.B. Anzahl Spülgänge multipliziert mit dem Preis pro Spülgang. Aus der Summe einer Anzahl n an Erlöselementen ergibt sich der Erlösmechanismus, wie in Gleichung 4-1 dargestellt.

$$EM = \sum_{i=1}^n E_i \text{ mit } E_i \in \{E_{fix}, E_{in}, E_{out}\}$$

EM: Erlösmechanismus

E_{in}: Input-orientierte Erlöselemente

E_i: Erlöselement

E_{out}: Output-orientierte Erlöselemente

E_{fix}: Fixe Erlöselemente

Gleichung 4-1: Darstellung eines Erlösmechanismus für Smart Services in Anlehnung an SADEK/STEVEN [SS10, S. 247]

Insbesondere bei einem Bündel von Smart Services können nicht alle Nutzenversprechen verrechnet werden. Nutzenversprechen mit dem höchsten Kundenwert werden kombiniert und als dominanter Teil der Marktleistung bezeichnet, welche die anderen Bestandteile der Marktleistung subventionieren [WBW+17, S. 10ff]. Der Erlösmechanismus selbst kann ein Nutzenversprechen erzeugen, wenn der Anbieter durch die Art der Verrechnung Risiken für den Kunden übernimmt, wie z.B. Prozess- und Investitionsrisiken bei einer Zahlung pro Spülgang. Eine Übersicht von Risiken und damit verbundenen Nutzenversprechen von serviceorientierten Erlösmechanismen finden sich bei STOPPEL/ROTH [SR17, S. 83].

4.2.3 Serviceprozess

Der Aspekt Serviceprozess konkretisiert die wesentlichen Aktivitäten des Anwendungsszenarios (vgl. Bild 4-5) und bildet Serviceerbringung, Systemverhalten und Nutzerinteraktion ab. Die **Serviceerbringung** ist eine Abfolge von Aktivitäten, welche bei physischen Services durch Personen unter Nutzung von Werkzeugen erfolgt [GDE+19, S. 426]. Im Falle von digitalen Services werden Aktivitäten durch das technische System ausgeführt; es handelt sich also um Funktionen [BH17, S. 6], [WCR08, S. 506]. Für Smart Services ist eine hybride Darstellung notwendig, welche Aktivitäten von Personen und Funktionen von technischen Systemen gleichermaßen berücksichtigt.

Das **Systemverhalten** ergibt sich aus Bedingungen, welche die Abfolge ausgeführter Funktionen bestimmt. Bei der verbreiteten hierarchischen Darstellung von Funktionen wird hingegen nur eine statische Sicht abgebildet (vgl. [FG13, S. 256], [GLL12, S. 94]). Das Aktivitätsdiagramm der Spezifikationstechnik CONSENS kann wiederum nicht die Serviceerbringung durch Personen und die Nutzerinteraktion darstellen [GLL12, S. 98ff]. Aus diesem Grund soll durch den Aspekt Serviceprozesse auch das Systemverhalten auf Basis der Funktionen spezifiziert werden.

Die **Nutzerinteraktion** bestimmt die wahrgenommene Qualität eines Service durch den Nutzer und ist potentieller Fehlerpunkt [Sho84, S. 134] [BOM07, S. 18]. Des Weiteren ermöglichen leistungsstärkere Mensch-Maschine-Schnittstellen digitale und intensivere Nutzerinteraktionen [MP14, S. 486ff]. Die Nutzerinteraktion soll deshalb bereits in der Konzeptphase betrachtet und durch den Aspekt Serviceprozess spezifiziert werden.

Zur Darstellung des Aspekts kann der Service Blueprinting-Ansatz genutzt werden (vgl. Abschnitt 3.5.2). Das grundlegende Prinzip ist die Darstellung einer Abfolge von Aktivitäten, welche auf unterschiedlichen Ebenen (Swimlanes) angeordnet sind. Der ursprüngliche Ansatz von SHOSTACK wurde vielfach modifiziert, wobei wesentliche Unterschiede die Anzahl und Art der Swimlanes sind [Sho84, S. 135], [BOM07, S. 8]. Für die Darstellung von Smart Service-Prozessen dient der Vorschlag von EVERSHEIM et al. mit drei Ebenen als Basis [ELW06, S. 433]. Er wird durch Attribute und detailliertere Entscheidungspunkte ergänzt. Bild 4-7 zeigt die vorgeschlagene Darstellung mithilfe des modifizierten Service Blueprinting-Ansatzes.

Für Smart Services eignet sich eine Darstellung auf drei Ebenen, da ergänzende Ebenen die unternehmensinternen Wertschöpfungsprozesse detaillierter betrachten (wie z.B. BITTNER et al. [BOM07, S. 8]), welche für das Konzept der Marktleistung noch nicht relevant sind. Es werden die Ebenen Nutzer-, Anbieter- und Backstage-Aktivitäten genutzt, wobei Backstage-Aktivitäten für den Nutzer unsichtbar sind. Die Aktivitäten werden durch Attribute als digitale oder physische Aktivität charakterisiert, um Aktivitäten von Personen und Systemen zu unterscheiden. Mithilfe der Attribute können Serviceprozesse konzipiert werden, welche auf dem synergetischen Zusammenwirken von Personen und technischen Systemen beruhen.

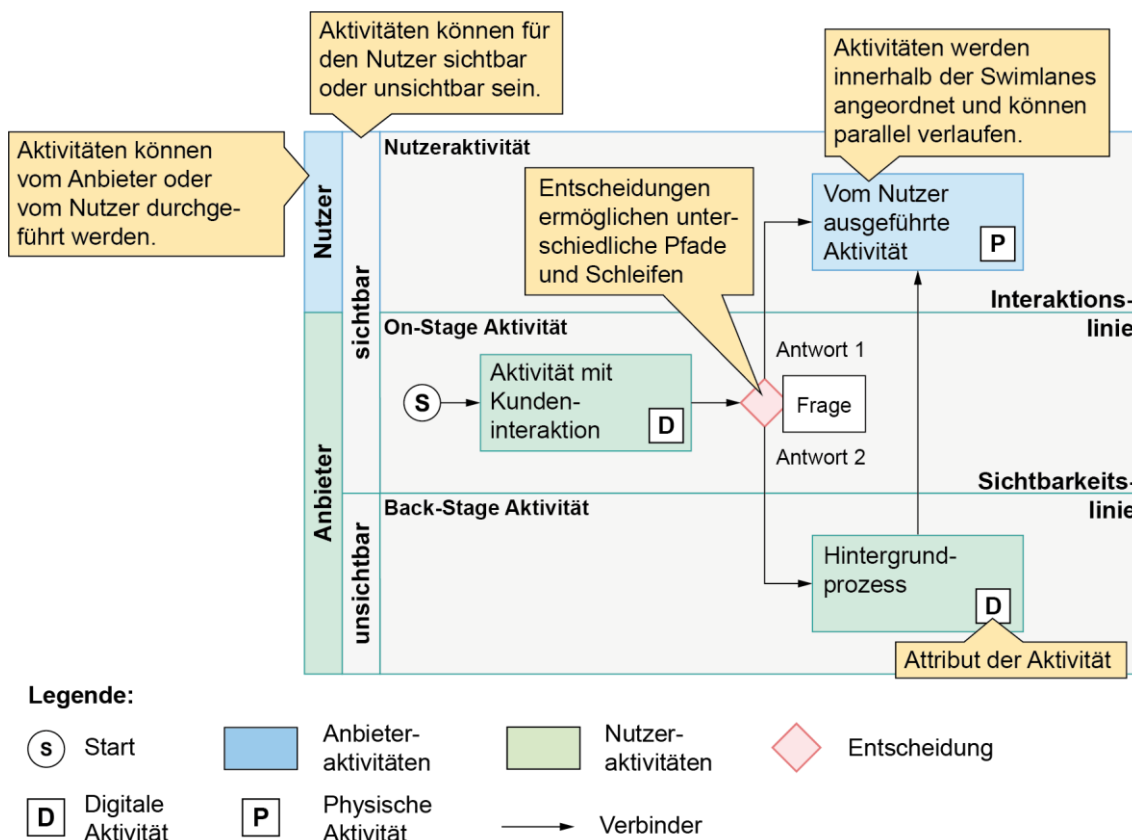


Bild 4-7: Darstellung der Serviceprozesse mithilfe des Service Blueprinting-Ansatzes in Anlehnung an EVERSHEIM et al. [ELW06, S. 433]

Der Serviceprozess besteht aus einer Abfolge von Aktivitäten, welche parallel ablaufen können. Die Attribute werden durch entsprechende Abkürzungen („D“ und „P“) direkt der Aktivität zugeordnet. Logische Verknüpfungen werden durch Entscheidungspunkte realisiert, welche das Verhalten von Personen und Systemen gleichermaßen abbilden. Die Entscheidungspunkte ermöglichen unterschiedliche Pfade durch den Prozess abhängig von Zuständen, welche durch Fragen dargestellt werden. Auf diese Weise können auch Schleifen abgebildet werden, welche durch technische Systeme realisiert werden.

Nutzeraktivitäten können bereits bestehen oder bewusst eingeplant werden, wobei bestehende Aktivitäten aus der Analyse aktueller Kundenprozesse resultieren und in den Serviceprozess integriert werden. Anbieter können einzelne Aktivitäten oder den gesamten Prozess übernehmen und als Service anbieten. Der Nutzer kann bewusst in den Serviceprozess eingebunden und an der Serviceerbringung beteiligt werden [WBF16, S. 67]. Hierbei gilt es zu berücksichtigen, dass der Nutzer motiviert und fähig ist, die Aktivitäten auszuführen, da sonst die Qualität des Gesamtprozesses leidet.

On-Stage Aktivitäten werden durch den Anbieter durchgeführt und sind für den Nutzer sichtbar, d.h. es erfolgt eine Nutzerinteraktion. Die Nutzerinteraktion beeinflusst maßgeblich die wahrgenommene Qualität des gesamten Serviceprozesses. Digitale Aktivitäten haben den Vorteil, dass sie standardisiert sind und damit die Ausführungsqualität

nicht personen-abhängig schwankt [LG14, S. 258]. Gleichzeitig haben sie den Nachteil, dass sie vergleichsweise starr sind und in der Regel nicht auf individuelle Reaktionen des Nutzers eingehen können.

Back-Stage Aktivitäten werden ebenfalls durch den Anbieter durchgeführt, sind aber für den Kunden unsichtbar und unterstützen die sichtbaren On-Stage Aktivitäten. So können externe Partner integriert werden, welche für den Nutzer unsichtbar sind. Beispiele sind Aktivitäten im Bereich Rechnungswesen oder Logistik, welche notwendig sind, aber unter Umständen nicht zu den Kompetenzen des Anbieters gehören (z.B. Nachlieferung von Verbrauchsmitteln durch einen Logistikdienstleister).

Bild 4-8 zeigt das Vorgehen bei der Konzipierung des Serviceprozesses mithilfe der vorgeschlagenen Darstellung. Ausgangspunkt sind die wesentlichen Aktivitäten aus dem Aspekt Anwendungsszenario, welche im Sinne des Systems Engineering vom Groben zum Feinen weiter spezifiziert werden. Zur Komplexitätsreduzierung können im ersten Schritt die einzelnen Aktivitäten getrennt voneinander spezifiziert und im Anschluss verknüpft werden.

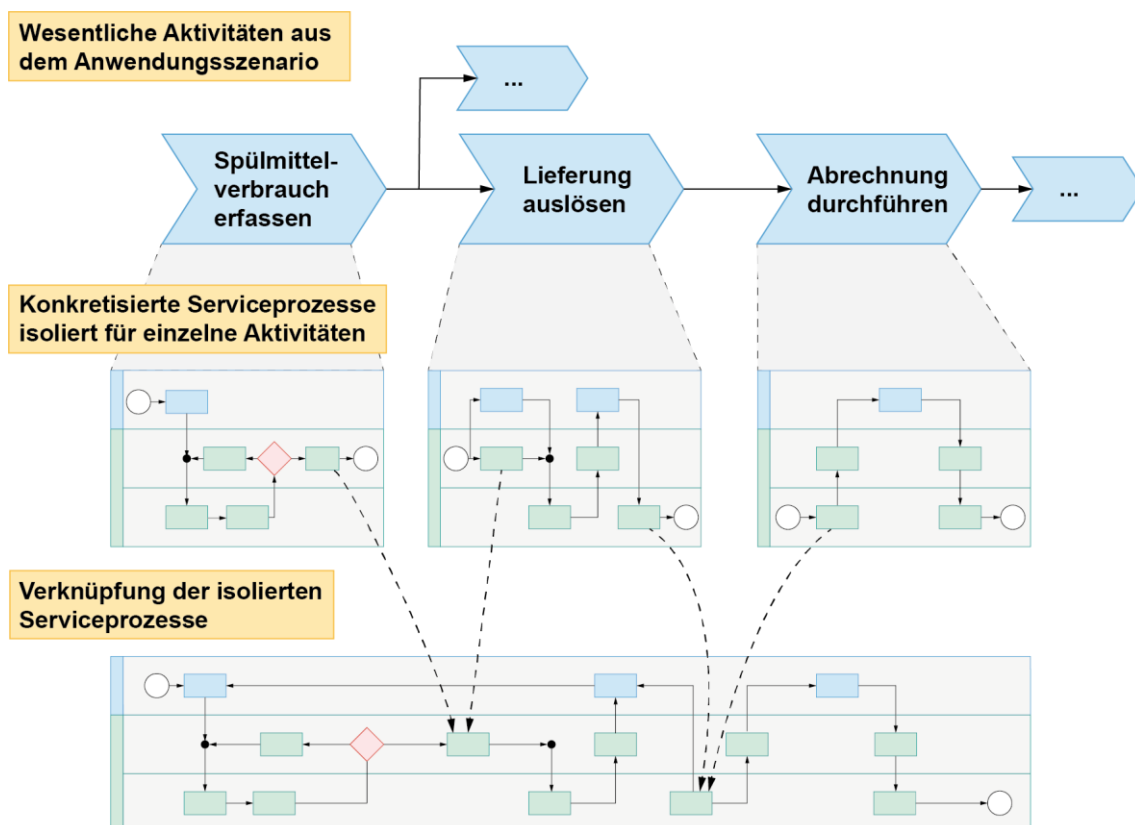


Bild 4-8: Vorgehen zur Konzipierung des Aspekts Serviceprozess

4.2.4 Wirkstruktur

Die Basis für Smart Services ist das Technologiekonzept Cyber-Physischer Systeme (CPS), da es die Weiterentwicklung von mechatronischen Systemen in geeigneter Weise darstellt. Eine Referenzarchitektur für CPS findet sich bei WESTERMANN [Wes17, S. 94], welche zur Darstellung des Aspekts Wirkstruktur genutzt wird. Die Referenzarchitektur wurde modifiziert und kann mit der Darstellungstechnik Wirkstruktur der Spezifikationstechnik CONSENS visualisiert werden (vgl. Abschnitt 3.5.4). Für Smart Services wird eine Referenzwirkstruktur definiert, welche dem Systemarchitekten als Schablone zur Konzipierung dient. Bild 4-9 zeigt die Referenzwirkstruktur.

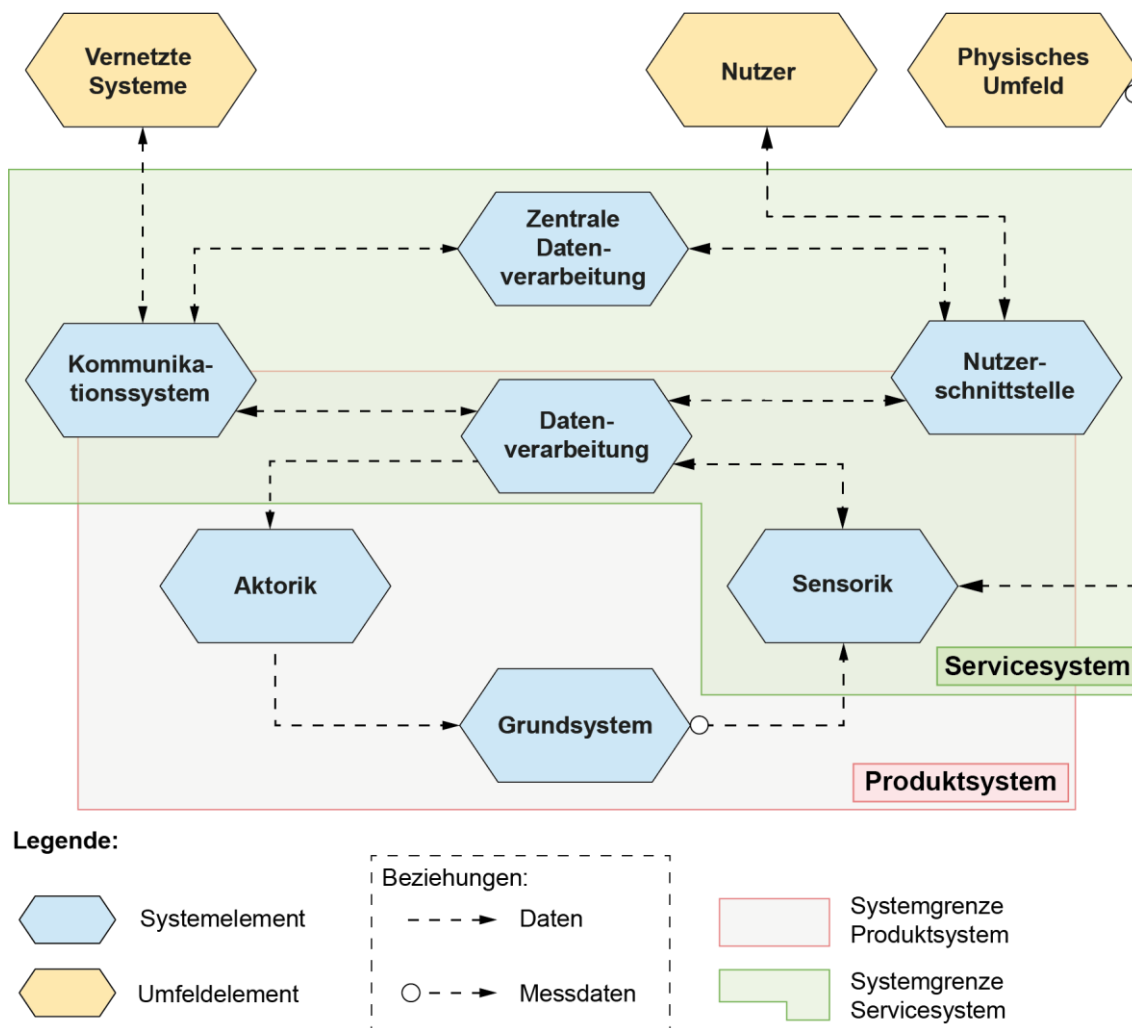


Bild 4-9: Referenzwirkstruktur für Smart Services

Die Wirkstruktur ist in **Produkt- und Servicesystem** unterteilt, da das Grundsystem und die Aktorik des Produktsystems nur im weiteren Sinne für Services relevant sind. Das Servicesystem beinhaltet zusätzlich eine zentrale Datenverarbeitung zur Zusammenführung und Auswertung von Daten sowie der Ausführung von digitalen Aktivitäten.

Als **Beziehungen** zwischen den Elementen wird der Austausch von Daten dargestellt. Hierbei wird zwischen Daten und Messdaten unterschieden, um Messpunkte von Sensoren darzustellen. Die Spezifikationstechnik CONSENS sieht noch weitere Beziehungen vor, welche für Smart Services nicht relevant sind: Energie- und Stoffflüsse sowie mechanische Verbindungen zwischen Systemelementen [GDE+19, S. 423]. Diese Beziehungen werden bei der Konzipierung von Smart Services nicht dargestellt.

Mechanische, elektromechanische, pneumatische oder hydraulische Strukturen werden als **Grundsystem** bezeichnet [VDI2206, S. 14]. Es handelt sich um physische Systemelemente, wie zum Beispiel das Gehäuse einer Spülmaschine oder der Behälter für Reinigungschemie. Die Einwirkung auf physische Vorgänge erfolgt durch **Aktoren**, welche ebenfalls physische Systemelemente sind [GB12, S. 22]. Beispiele sind Antriebe oder Ventile [Wes17, S. 94].

Sensoren erzeugen Daten aus der physischen Welt durch die Erfassung von Zustandsgrößen. Die Daten können das Produktsystem selbst oder dessen Umgebung beschreiben. Ein Beispiel sind Daten über den Füllstand des Reinigungschemiebehälters, welche durch unterschiedliche Zustandsgrößen und Sensoren erzeugt werden können. Darüber hinaus können virtuelle Sensoren aus verschiedenen Zustandsgrößen eine nicht direkt messbare Zustandsgröße berechnen [Wes17, S. 94].

Durch die **Datenverarbeitung** werden gesammelte Daten interpretiert und zu Informationen [Dum11, S. 97]. Die Datenverarbeitung des Produktsystems dient bei mechatronischen Systemen zur Bestimmung der notwendigen Einwirkungen auf das System, um die gewünschte Beeinflussung auf die Zustandsgrößen des Grundsystems zu erreichen [VDI2206, S. 15]. Die Datenverarbeitung des Servicesystems dient zusätzlich der Vorverarbeitung und Speicherung der Sensordaten sowie der Ausführung von digitalen Aktivitäten. Des Weiteren dient sie der Interpretation des Outputs der zentralen Datenverarbeitung, um daraufhin auf das Produktsystem einzuwirken.

Die **zentrale Datenverarbeitung** dient der Analyse von Daten vieler, verteilter Systeme, wie beispielsweise einer großen Anzahl an Spülmaschinen, welche sich an unterschiedlichen Standorten eines oder mehrerer Kunden befinden [Rei16]. Die Daten werden zentral zusammengeführt und ermöglichen Erkenntnis, welche über die Verarbeitung von Daten eines einzelnen Systems hinausgehen. Darüber hinaus kann durch eine zentrale Datenverarbeitung auf leistungstärkere und skalierbarere IT-Systeme zurückgegriffen werden, welche Daten schneller analysieren können und eine Auslagerung von Funktionen ermöglicht [PH14, S. 5f]. Über flexible Nutzerschnittstellen, wie beispielsweise Smartphone-Apps oder Webinterfaces, können die Funktionen als Service ortsungebunden bereitgestellt werden, da keine direkte Verbindung mit dem Produkt notwendig ist.

Das **Kommunikationssystem** bildet Vernetzungskomponenten ab, um zwei Funktionen zu realisieren: Datenaustausch zwischen dem Produkt und dem Betriebsumfeld sowie die Auslagerung von Produktfunktionen an die zentrale Datenverarbeitung [PH14, S. 5f]. Die

Kommunikation erfolgt in der Regel über digitale Netze und kann lokal oder global erfolgen [GB12, S. 22]. Von besonderer Bedeutung ist die Kommunikation mit der zentralen Datenverarbeitung, um die Potentiale von aggregierten Daten verteilter Systeme zu nutzen. Die Kommunikation kann auf einer oder mehreren Technologien basieren, abhängig von den Anforderungen an u.a. Bandbreite, Reichweite und Energieverbrauch.

Die **Nutzerschnittstelle** ermöglicht die Erbringung digitaler Services und muss sich nicht zwingend am physischen Produkt selbst befinden, sondern kann durch drahtlos verbundene Endgeräte abgebildet werden (z.B. Smartphones oder Tablets). Des Weiteren kann die zentrale Datenverarbeitung direkt mit der Nutzerschnittstelle verbunden sein, wodurch standardisierte Nutzerschnittstellen wie Tablets einfacher genutzt werden können. In der Regel handelt es sich um multimodale Schnittstellen, d.h. eine Kombination aus unterschiedlichen Möglichkeiten der Nutzerinteraktion [GB12, S. 22]. So vereinen beispielsweise Tablets visuelle, auditive und taktile Ein- und Ausgaben in einem System.

Vernetzte Systeme können Daten liefern, welche einen Service ergänzen, oder Daten empfangen, welche das betrachtete System liefert. Die vernetzten Systeme können sich sowohl im lokalen als auch im globalen Umfeld befinden. Beispiele sind Fertigungsinformationen von einem Werkstück (lokales Umfeld) oder Wetterdaten von einem Wetterdienst (globales Umfeld) [PH15, S. 10]. Darüber hinaus können Sensoren Messinformationen aus dem physischen Umfeld erheben. Die Messstelle wird dann durch das Element **Umfeld** näher spezifiziert.

Nutzer müssen über die Nutzerschnittstelle mit dem System verbunden sein, um Smart Services nutzen zu können [LG14, S. 258]. Die Nutzung kann je nach Schnittstelle im lokalen als auch im globalen Umfeld erfolgen. Zum einen können Nutzer durch eine Eingabe Daten bereitstellen und damit als Datenquelle dienen. Zum anderen können Nutzer Daten empfangen und damit einen Service in Anspruch nehmen.

Bei der **Spezifikation der Wirkstruktur** sollten die aufgezeigten Elemente der Referenzwirkstruktur enthalten sein und alle darüberhinausgehenden Elemente ausgeblendet werden. So kann es vorkommen, dass Elemente zur Erfüllung von Kernfunktion (z.B. Spülen von Geschirr) fehlen, da sie nicht für den Service relevant sind (z.B. der Besteckkorb). Darüber hinaus kann die Referenzwirkstruktur zur Analyse des bestehenden Systems genutzt werden. Hierbei können Elemente ohne Flussbeziehungen abgebildet werden, wenn sie keine Datenschnittstelle besitzen, da die anderen Flussbeziehungen ausgeblendet sind (wie z.B. Energieflüsse). Ziel ist dann eine Schnittstelle zu diesem Element, um dessen Daten zu nutzen oder Messdaten mit einem Sensor aufzunehmen.

4.2.5 Datenanalyse

Die Datenanalyse bildet die Basis für die Intelligenz von Smart Services. Das Schichtenmodell für Data Analytics nach KÜHN et al. bietet einen Ordnungsrahmen zur Konzipierung von Datenanalyseprojekten im Produktionsumfeld und bildet damit eine Datenanalyse ab [KJR+18, S. 164] (vgl. Abschnitt 3.1.3). Bild 4-10 zeigt das angepasste Schichtenmodell, um es zur Konzipierung der Datenanalyse im Produktumfeld zu nutzen. Es wurde mit den Aspekten Anforderungsszenario und Wirkstruktur verknüpft.

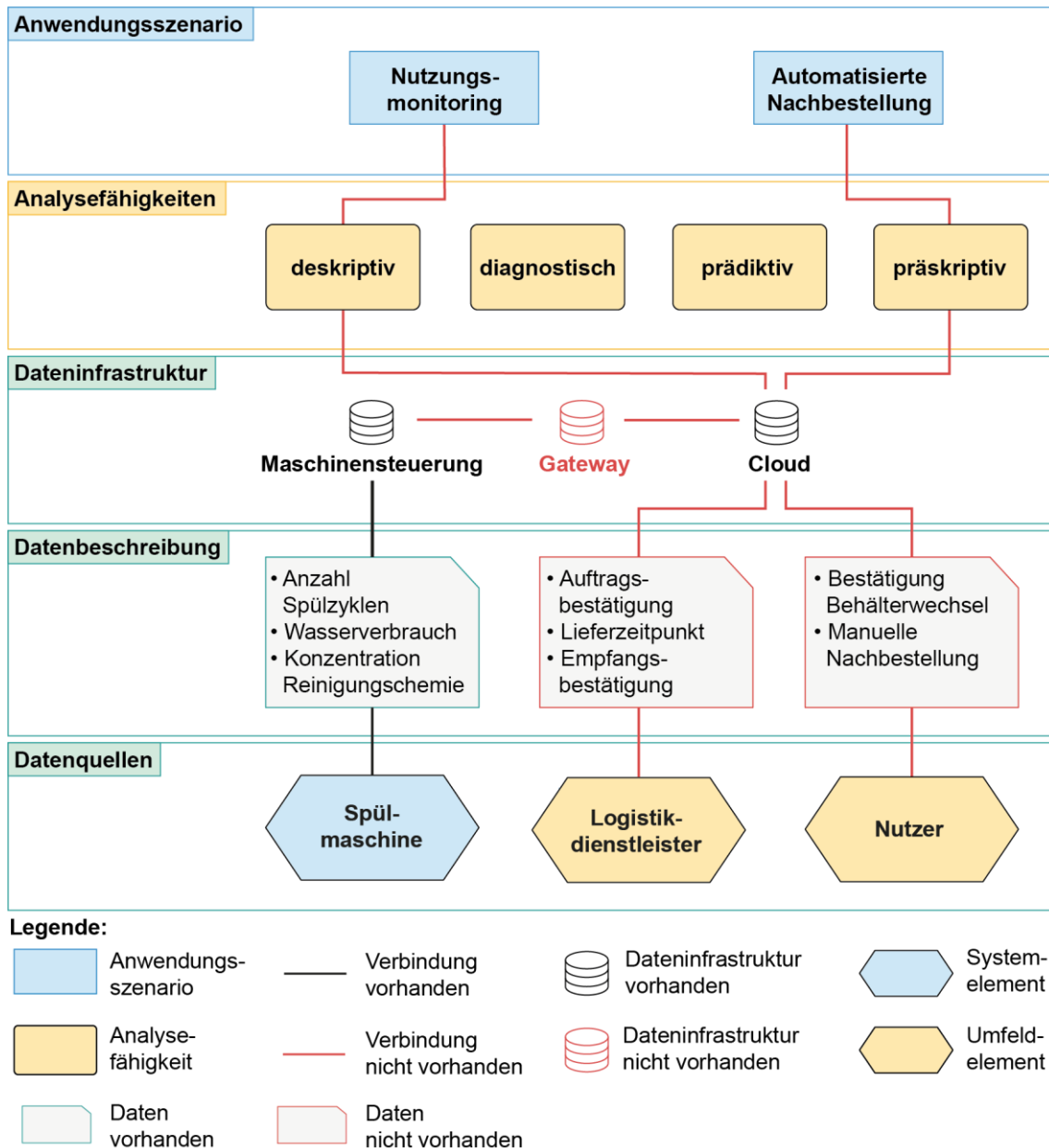


Bild 4-10: Schichtenmodell zur Konzipierung der Datenanalyse in Anlehnung an KÜHN et al. [KJR+18, S. 164]

Das **Anwendungsszenario** beschreibt den Zweck der Datenanalyse, d.h. was mit der Datenanalyse erreicht und welche Informationen erzeugt werden sollen. Die Beschreibung erfolgt im Aspekt Anwendungsszenario (vgl. Abschnitt 4.2.1).

Die **Analysefähigkeiten** charakterisieren die geplante Datenanalyse. Es wird in Anlehnung an PORTER/HEPPELMANN und STEENSTRUP et al. nach vier Fähigkeiten unterschieden [PH15, S. 10], [SSJ+17, S. 7]: deskriptiv, diagnostisch, prädiktiv und präskriptiv. Mit zunehmender Leistungsfähigkeit der Datenanalyse steigt der Aufwand der Umsetzung, aber es sinkt in der Regel der notwendige Input des Nutzers [KJR+18, S. 164].

Die Spezifikation der **Dateninfrastruktur** zeigt, in welchen Systemen die Daten gesammelt, gespeichert und verarbeitet werden sollen, d.h. welche Elemente die Datenverarbeitung ausführen sollen. Es kann zwischen dezentralen und zentralen Systemen unterschieden werden. Bei dezentralen Systemen handelt es sich in der Regel um die Steuerung des Produkts und bei zentralen Systemen um IT-Plattformen, welche vom Unternehmen selbst oder anderen Anbietern bereitgestellt werden [EPR17, S. 21]. Des Weiteren können Gateways genutzt werden, um eine Vorverarbeitung und Zwischenspeicherung von Daten vorzunehmen [ZWC+10, S. 349], [Zen11, S. 12]. Dies ist z.B. der Fall, wenn durch einen Batteriebetrieb keine leistungsstarke Funktechnologie genutzt werden kann, um Daten an eine zentrale Infrastruktur weiterzuleiten [Wol15, S. 1515]. Zum anderen können Gateways genutzt werden, um große Datenmengen durch eine Vorverarbeitung zu reduzieren, bevor diese an eine zentrale Datenverarbeitung gesendet werden [Sie18-ol].

Die **Datenbeschreibung** zeigt die notwendigen Daten, um das Anwendungsszenario umzusetzen und die erforderlichen Informationen zu generieren. Hierbei werden die Daten auf Basis der Quellen in Blöcken zusammengefasst. Zur Identifikation vorhandener Daten kann das Hilfsmittel der Datenlandkarte genutzt werden (vgl. Abschnitt 4.4.2).

Die **Datenquellen** werden durch Systemelemente der Wirkstruktur dargestellt. Relevante Elemente sind das bestehende Produkt oder umliegende Systeme, welche sowohl im lokalen als auch im globalen Umfeld liegen können. Systeme im lokalen Umfeld sind beispielsweise vor- oder nachgelagerte Fertigungssysteme innerhalb einer Produktion. Im globalen Umfeld können Systeme des gleichen Typs (z.B. weitere Spülmaschinen an anderen Orten) oder andere Services (z.B. Sendungsverfolgung eines Logistikdienstleisters) als Datenquellen dienen.

Die **Spezifikation der Datenanalyse** erfolgt auf Basis der Aspekte Anwendungsszenario und Wirkstruktur. Ausgehend vom Anwendungsszenario steht der Zweck der Analyse fest und es erfolgt die Auflistung potentieller Datenquellen, welche sich im Umfeld des Systems befinden. Ein Abgleich zeigt vorhandene und notwendige Daten, um die geforderten Informationen zu erzeugen. Gleichzeitig können auf Basis der vorhandenen Daten neue Anwendungsszenarien generiert werden. Die Analysefähigkeiten orientieren sich am Zweck der Analyse und die Infrastruktur am Systemumfeld.

4.2.6 Aspektübergreifende Verknüpfungen

Zwischen den Aspekten der Referenzarchitektur bestehen Abhängigkeiten, welche durch aspektübergreifende Verknüpfungen dargestellt werden. Es werden zwei Typen von Verknüpfungen unterschieden:

- **Aspekt A erfordert Aspekt B**, um Aspekt A umzusetzen. Beispielsweise erfordern Anwendungsszenarien im Bereich Produktmonitoring einen entsprechenden Serviceprozess zur Darstellung von Informationen.
- **Aspekt A ermöglicht Aspekt B**, da Aspekt A die Basis zur Umsetzung von Aspekt B bildet. Beispielsweise erzeugen Sensoren als Elemente der Wirkstruktur Daten, welche eine Datenanalyse ermöglichen.

Bild 4-11 zeigt die Verknüpfungen der Aspekte in der Übersicht, welche im Folgenden nach ihrer Nummerierung von (1) bis (6) paarweise beschrieben werden. Es bestehen nicht zwischen allen Aspekten Verknüpfungen.

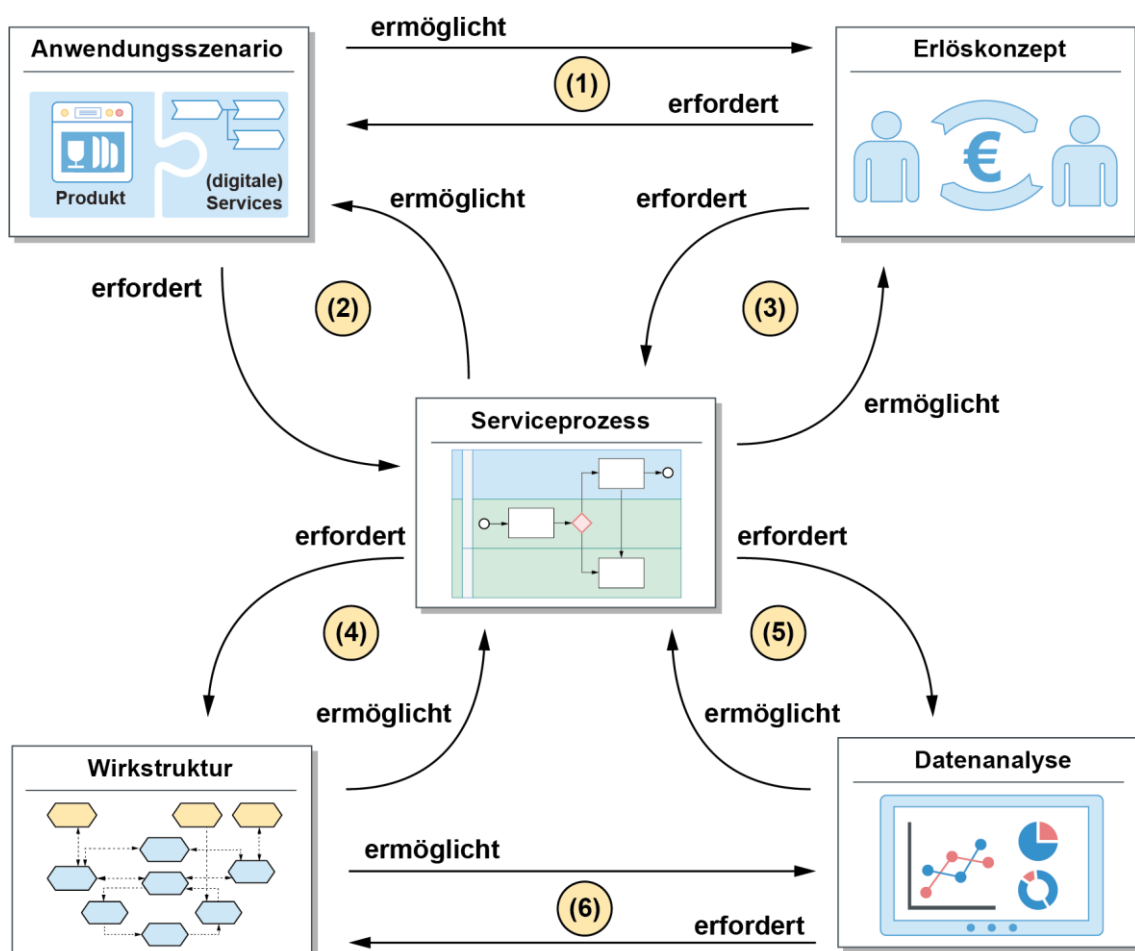


Bild 4-11: Verknüpfungen zwischen den Aspekten der Referenzarchitektur

(1) Anwendungsszenario und Erlös-konzept

Erlös-konzepte erfordern Anwendungsszenarien, da serviceorientierte Erlös-konzepte nur attraktiv werden, wenn der Betrieb des Systems effektiver und effizienter durch den Serviceanbieter als durch den Kunden erfolgt. Es sind Anwendungsszenarien erforderlich, welche die Betriebskosten senken oder den Kundennutzen erhöhen. Durch die Digitalisierung von bestehenden Services (Wartung, Reparatur, Abrechnung) werden die Betriebskosten gesenkt. Durch neue, digitale Services (Monitoring und Optimierung) wird der Kundennutzen erhöht.

Anwendungsszenarien ermöglichen Erlös-konzepte, da die Anwendungsszenarien Ideen beschreiben, die serviceorientierte und digitale Erlös-konzepte realisierbar und profitabler machen. Erlösmechanismen können sich am Kundennutzen orientieren bei gleichzeitiger Senkung der Betriebskosten. Die Abrechnung wird flexibler, in kürzeren Intervallen und kleineren Einheiten möglich. Digitale Erlös-konzepte sind auf Basis der Eigenschaften digitaler Leistungen möglich: Nahezu keine Produktions-, Lager und Transportkosten sowie eine sofortige Bereitstellung beim Kunden.

(2) Anwendungsszenario und Serviceprozess

Anwendungsszenarien erfordern Serviceprozesse, um die Serviceerbringung konkreter zu spezifizieren. Anwendungsszenarien dienen der Ideenfindung und beschreiben den groben Ablauf der Serviceerbringung, des Systemverhaltens und die Nutzerinteraktion. Weiterhin ist eine formale Darstellung notwendig, um Nutzerschnittstellen genauer zu definieren, das Systemverhalten durch Entscheidungspunkte zu beschreiben und den Aktivitäten zur Serviceerbringung Attribute zuzuweisen.

Serviceprozesse ermöglichen Anwendungsszenarien, da Serviceprozesse bestehende Kundenaktivitäten beschreiben können und sich hierdurch Ideen für Anwendungsszenarien ableiten lassen. Bestehende Kundenaktivitäten können durch den Anbieter unterstützt oder übernommen werden. Des Weiteren ermöglichen bestehende Anbieteraktivitäten und Nutzerschnittstellen weitere Anwendungsszenarien, wie z.B. eine Smartphone-Schnittstelle für verschiedene Anwendungsszenarien genutzt werden kann.

(3) Erlös-konzept und Serviceprozess

Erlös-konzepte erfordern Serviceprozesse, da Erlös-konzepte Bereitstellungs- und Abrechnungsprozesse erfordern. Die Bereitstellung kann sich je nach Erlös-konzept unterscheiden und es sind zeitliche und funktionale Einschränkungen von Serviceleistungen zu realisieren. Die Abrechnung soll in der Regel ebenfalls digital erfolgen.

Serviceprozesse ermöglichen Erlös-konzepte, da ein bestehender Serviceprozess Potentiale für neue oder veränderte Erlös-konzepte besitzen kann. Der Fokus liegt hier auf der Kundenschnittstelle und Aktivitäten zur Rechnungsstellung. Diese bilden einen (digitalen) Verkaufspunkt, welcher zum Verkauf und zur Bereitstellung weiterer Services genutzt werden kann.

(4) Serviceprozess und Wirkstruktur

Serviceprozesse erfordern Änderungen an der Wirkstruktur, um die Erbringung der digitalen Aktivitäten zu ermöglichen. Zum einen betrifft dies notwendige, zusätzliche Systemelemente in den Bereichen Sensorik, Konnektivität und Benutzerschnittstellen. Zum anderen sind Schnittstellen zu Systemen im (digitalen) Umfeld erforderlich, wenn externe Partner und deren Systeme in Prozesse eingebunden werden.

Wirkstrukturen ermöglichen Serviceprozesse, da mit vorhandenen Elementen und Schnittstellen die Erbringung von Serviceprozessen realisiert wird. Eine vorhandene Nutzerschnittstelle ermöglicht digitale On-Stage-Aktivitäten, die über die Schnittstelle erbracht werden. Durch vorhandene Sensorik können Daten erzeugt werden, welche Serviceprozesse unterstützen oder erweitern. Mit vorhandener Konnektivität können Schnittstellen zu weiteren Systemen realisiert werden, um diese in den Prozess einzubinden.

(5) Serviceprozess und Datenanalyse

Serviceprozesse erfordern Datenanalysen, da Aktivitäten der Serviceprozesse Informationen benötigen, welche mithilfe der Datenanalyse erzeugt werden müssen. Bedarfsgerechte Aktivitäten (Wartung, Reparatur und Lieferung von Verbrauchsmitteln) erfordern Informationen über den optimalen Zeitpunkt der Ausführung der Aktivität. Die Spezifikation der Datenanalyse ist abhängig von der erforderlichen Genauigkeit des Zeitpunkts und den verfügbaren Daten.

Datenanalysen ermöglichen Serviceprozesse, da mit vorhandenen Daten Informationen erzeugt werden, welche Aktivitäten in einem Serviceprozess realisieren. Informationen bezüglich der Nutzung des Systems und dessen Zustand führen zu bedarfsgerechten Aktivitäten sowie Aktivitäten zur Informationsbereitstellung für den Nutzer.

(6) Wirkstruktur und Datenanalyse

Datenanalysen erfordern Veränderung der Wirkstruktur, da Datenquellen für die Analyse benötigt werden. Durch Integration von Sensorik können Daten im unmittelbar beeinflussbaren System und im mittelbar beeinflussbaren Umfeld erhoben werden. Durch Integration von Benutzerschnittstellen können Daten vom Nutzer abgefragt werden. Durch Schnittstellen zu anderen Systemen können ebenfalls Daten abgefragt werden.

Wirkstrukturen ermöglichen Datenanalyse, da die Wirkstruktur Datenquellen beschreibt. Relevante Elemente eines Systems liegen in den Bereichen Sensorik, Konnektivität und Benutzerschnittstellen, um Datenquellen für eine Analyse zu erschließen. Die vorhandenen Daten können durch Kombination und Verarbeitung zu Informationen führen.

4.3 Referenzbausteine

Referenzbausteine sind Lösungen für die einzelnen Aspekte der Referenzarchitektur und dienen als Hilfestellung für Systemarchitekten. Es werden die Möglichkeiten der einzelnen Aspekte aufgezeigt, um Systemarchitekten bei der Konzipierung individueller Services zu inspirieren, weshalb kein Anspruch auf Vollständigkeit erhoben wird. Bei der Konzipierung werden die Bausteine spezifisch ausgeprägt, verändert und zu einer Gesamtlösung kombiniert.

Die Referenzbausteine sind eine Abstraktion und Kombination bestehender Lösungselemente. In Anlehnung an FELDHUSEN et al. soll mithilfe der abstrahierten Bausteine eine kreative, aber auch methodische Denk- und Vorgehensweise bei der Konzipierung erreicht werden [FG13, S. 287]. Lösungselemente können in Katalogen übersichtlich dargestellt werden, wobei „*ordnende Gesichtspunkte*“ festgelegt werden müssen, um einen schnellen Zugriff zu ermöglichen [FG13, S. 377]. Bild 4-4 zeigt die Struktur, ordnende Gesichtspunkte und das Farbschema der Referenzbausteine für Smart Services.

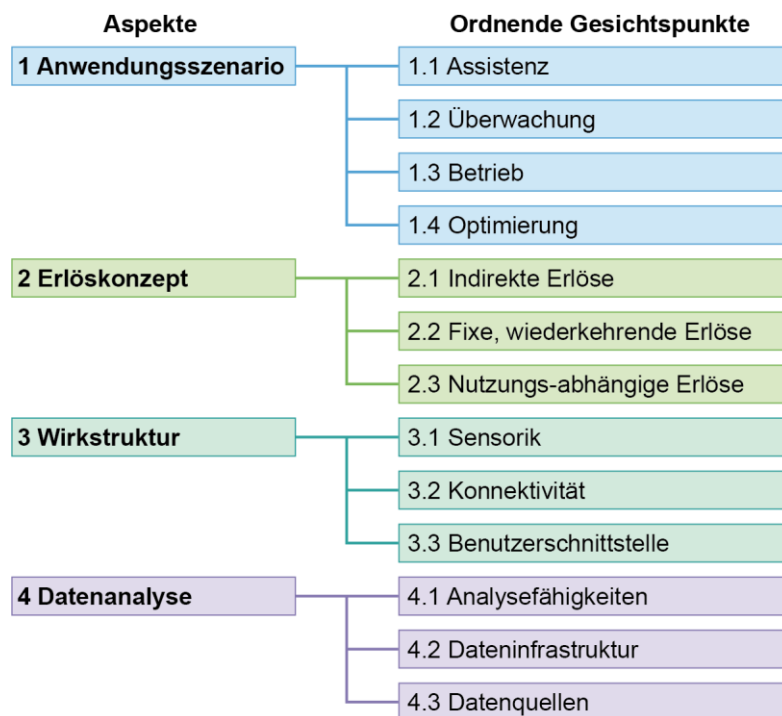


Bild 4-12: Überblick der Kategorisierung der Referenzbausteine

Jeder Aspekt gliedert sich in drei bzw. vier ordnende Gesichtspunkte, welche wiederum eine unterschiedliche Anzahl von Referenzbausteinen enthalten. Für den Aspekt Serviceprozess sind keine Referenzbausteine vorgesehen, da aufgrund der sehr individuellen Ausprägung keine wiederkehrenden Lösungen erkennbar sind. Zur Erhebung der Lösungselemente wurden zwei Studien durchgeführt [FRK+19], [MRG+18] sowie auf bestehende Lösungselemente zurückgegriffen, wie beispielsweise auf Geschäftsmodellmuster [GWE+17, S. 29]. Die Strukturierung erfolgt in morphologischen Zeilen in Anlehnung an einen morphologischen Kasten [FG13, S. 373].

Die Referenzbausteine werden in Steckbriefen dokumentiert, um eine Nutzung in Workshops zu ermöglichen. Bild 4-13 zeigt beispielhaft den Steckbrief für den Baustein „Automatische Nachbestellung“ als ein Anwendungsszenario.

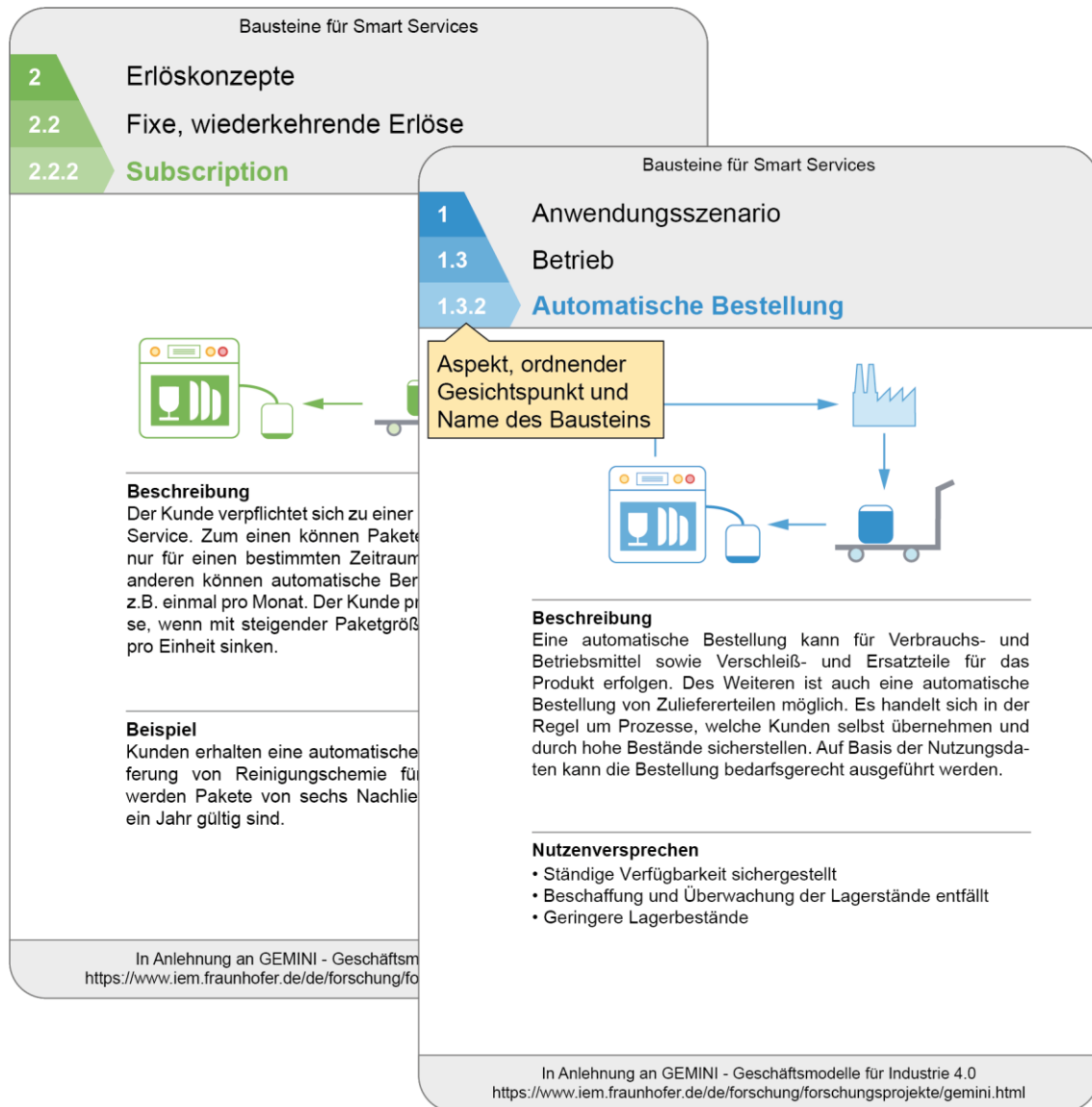


Bild 4-13: Steckbriefe für den Referenzbausteine "Subscription" und "Automatische Bestellung"

Der Aufbau des Steckbriefs orientiert sich an der Dokumentation von Geschäftsmodellmustern in Form von sog. Geschäftsmodellmuskarten, welche im Forschungsprojekt GEMINI (Geschäftsmodelle für Industrie 4.0) entwickelt wurden [GWE+17, S. 36], [IEM19-ol]. Eine Beschreibung in Prosa wird von einer Skizze sowie weiteren Merkmalen, wie dem Nutzenversprechen, ergänzt. Die Karten eignen sich zur Dokumentation von unterschiedlichem Lösungswissen, wie z.B. auch zur Digitalisierung von Produktportfolios oder der Planung von Plattform-Strategien [EG17], [DGK+18]. Die folgenden Abschnitte zeigen einen Überblick der Bausteine für jeden Aspekt, welche sich vollständig im Anhang A1 befinden.

4.3.1 Anwendungsszenarien

Die Bausteine für Anwendungsszenarien wurden durch zwei Studien abgeleitet, welche bestehende Smart Services im produzierenden Gewerbe auf wiederkehrende Elemente analysieren [FRK+19], [MRG+18]. Bild 4-14 zeigt die Referenzbausteine mit einer kurzen Beschreibung in der Übersicht, welche in Bezug auf ihren übergeordneten Nutzen für den Kunden in vier ordnende Gesichtspunkte eingeteilt sind (Assistenz, Überwachung, Betrieb und Optimierung).

Assistenz		
Digitale Beratung Beratung vor und während der Nutzungsphase bezüglich des Produkts und zugehöriger Prozesse.	Anleitung und Self-Service Digitale (interaktive) Anleitung für Nutzer zu Aufbau und Bedienung sowie Wartung und Reparatur des Produkts.	Fernzugriff Durch (mobile) Endgeräte kann auf das System zugegriffen werden, um es zu überwachen und zu steuern.
Überwachung		
Monitoring Auswertung und Aufbereitung von Daten bezüglich des Zustands und der Nutzung des Produkts sowie dessen Umfeld.	Hinweis und Warnung Auf Basis des Monitorings und definierten Regeln, werden Hinweise und Warnungen bezüglich des Produkts erzeugt.	Serviceunterstützung Vorbereitung von Wartung und Reparatur durch automatisierte Berichte mit Fehlern und notwendigen Verschleiß-/Ersatzteilen.
Betrieb		
Updates und Upgrades Übertragung und Installation von Updates und Upgrades zur Fehlerbehebung, Verbesserung und Erweiterung des Produkts.	Automatisierte Bestellung Bedarfsgerechte Bestellung von Verbrauchs- und Betriebsmitteln sowie Verschleiß- und Ersatzteilen.	Lebenszykluskosten Messung der Nutzung oder des Ergebnisses der Nutzung des Produkts und Berechnung der Lebenszykluskosten.
Optimierung		
Vorausschau Prognose von Zuständen, Nutzung und Fehlern des Produkts sowie von Veränderungen im Umfeld des Produkts.	Planung Vorschläge für die unter den gegebenen Umständen optimale Produktnutzung sowie Wartungs- und Reparaturzeitpunkte.	Automatisierte Einstellung Veränderung der Einstellung des Produkts zur Optimierung sowie zur Fehlervermeidung und -behebung.

Bild 4-14: Referenzbausteine für Anwendungsszenarien [FRK+19], [MRG+18]

Die Auswahl und Ausprägung der Anwendungsszenarien hängt von der Bündelung der Services ab. Es können Services einzeln angeboten und abgerechnet werden, oder ein Bündel von Services zu einem Preis mit einem Erlös-konzept angeboten werden. Folgendes Beispiel verdeutlicht die Besonderheit bei der Bündelung.

Beispiel: Für eine Spülmaschine werden Betrieb, Wartung, Verbrauchsmittel und Reparatur in einem Bündel angeboten. Der Kunde zahlt pro durchgeführtem Spülgang, wodurch alle Leistungen abgedeckt sind. Der Serviceanbieter hat dann zwei Ziele: Hohe Verfügbarkeit und geringe Betriebskosten. Hierzu ist es sinnvoll, zusätzliche Services anzubieten: Durch Self-Service können dem Kunden einfache Wartungstätigkeiten übertragen werden, um die Betriebskosten zu senken. Durch Monitoring und Vorausschau kann das System aus der Ferne überwacht und anstehende Wartungen und Reparaturen proaktiv durchgeführt werden; Systemausfälle werden vermieden und die Verfügbarkeit steigt. Der Serviceanbieter bündelt weitere Services zu seinem eigenen Vorteil.

Assistenz

Die Bausteine unterstützen bei Prozessen, welche bei nahezu jedem Produkt notwendig sind, wie Beratung, Anleitungen, Wartung und Reparatur. Durch die (teilweise) Digitalisierung der Prozesse erhalten Anbieter und Kunden eine Assistenz bei der Ausführung. Die digitale Beratung senkt die Servicekosten für den Anbieter. Anleitungen und Self-Service ermöglichen die Übertragung von Aktivitäten auf den Kunden. Wartungen und Reparaturen können ohne Verzögerung (Anfahrt) durchgeführt werden und die Betriebskosten sinken. Durch Fernwartung können Fachexperten effizienter und schneller zur Problemlösung eingesetzt werden.

Überwachung

Die Bausteine ermöglichen eine verbesserte Überwachung und Steuerung des Systems. Durch Monitoring des Systems können Fachexperten in ihren Entscheidungen und bei Problemlösungen unterstützt werden, z.B. bei der Einstellung von Prozessparametern. Hinweise und Warnungen können bei vernetzten Systemen auf anderen Endgeräten angezeigt werden und die manuelle Überwachung reduzieren. Des Weiteren können Hinweise und Warnungen vorgefiltert und den richtigen Ansprechpartnern angezeigt werden. Die Serviceunterstützung dient der Rationalisierung von Wartung und Reparatur.

Betrieb

Die Bausteine ermöglichen den (teilweisen) Betrieb des Produkts durch den Serviceanbieter. Updates und Upgrades werden durch die Vernetzung des Systems aus der Ferne übertragen und installiert. Updates beheben Fehler und können die Verfügbarkeit sicherstellen bzw. steigern, wohingegen Upgrades das System durch neue Funktionen erweitern. Die automatisierte Bestellung von Verbrauchs- und Betriebsmitteln vermindert das Risiko eines Ausfalls aufgrund vergessener, manueller Nachbestellungen; die Nachbestellung von Verschleiß- und Ersatzteilen beschleunigt Instandhaltung und Reparatur. Der Baustein Lebenszykluskosten beschreibt die Messung der Produktnutzung oder des Ergebnisses der Nutzung, wodurch Lebenszykluskosten berechnet bzw. geschätzt werden. Beispiele sind die Kosten auf Basis von Maschinenstunden oder produzierter Teile.

Optimierung

Die Bausteine beschreiben die Nutzung von komplexen Datenanalysen auf Basis der Daten vieler, verteilter Systeme. Die erzeugten Informationen sind aufgrund der breiteren Datenbasis (z.B. verschiedene Kunden) robuster und damit aussagekräftiger. Die Ausprägungen der Bausteine unterscheiden sich hinsichtlich des notwendigen Inputs, dem Grad der Automatisierung und der autonomen Entscheidungen durch das System – also optimiert sich das System vollständig selbst oder die letzte Entscheidung erfolgt durch eine Person. Eine Optimierung kann auch Veränderungen am Produktsystem bedeuten, um einen optimalen Betriebspunkt zu erreichen (z.B. der Einbau einer optimierten Turbinenschaufel eines Kompressors für das individuelle Nutzungsprofil eines Kunden).

4.3.2 Erlös-konzepte

Das Erlös-konzept ist Teil des Geschäftsmodells, wodurch für Lösungswissen auf Geschäftsmodellmuster zurückgegriffen werden kann. Geschäftsmodellmuster beschreiben bewährte Bausteine Erfolg versprechender Geschäftsmodelle [GWE+17, S. 27]. Demnach können Geschäftsmodellmuster, welche das Erlös-konzept betreffen, auch als Bausteine für Smart Services genutzt werden. Eine Übersicht von Geschäftsmodellmustern finden sich bei GASSMANN et al. [GFC13, S. 73] und ein Geschäftsmodellmustersystem bei GAUSEMEIER et al. [GWE+17]. Hierbei handelt es sich um umfangreiche Sammlungen, welche verschiedene Arten von Marktleistungen und Branchen betreffen. Darüber hinaus existieren Übersichten mit Bezug auf Produkt-Service Systeme bzw. hybride Leistungsbündel [RMG+11, S. 502], [WBW+17, S. 10], [AAA+15, S. 248]. Bild 4-15 zeigt Geschäftsmodellmustern für Smart Services aus den genannten Quellen.

Indirekte Erlöse		
Value Add-on Ein Service wird kostenlos als ergänzender Teil des Produkts zur Verfügung gestellt und steigert damit dessen Wert.	Leverage Customer Data Durch einen Service erhobene Daten bezüglich des Produkts und dessen Nutzung schaffen einen eigenen Mehrwert.	Hidden Revenue Durch einen Service entstandene Kundenschnittstelle kann als Werbefläche oder Verkaufspunkt angeboten werden.
Fixe, wiederkehrende Erlöse		
Flatrate Durch Zahlung eines Pauschalbetrags kann ein Service unbegrenzt für einen definierten Zeitraum genutzt werden.	Subscription Der Kunde verpflichtet sich zu einer regelmäßigen Nutzung durch Kauf von Paketen oder Abonnements.	Razor & Blade Die Basisversion eines Service wird vergünstigt angeboten und benötigt regelmäßig komplementäre, kostenpflichtige Leistungen.
Nutzungsabhängige Erlöse		
Freemium Die Basisversion eines Service wird kostenlos angeboten und durch kostenpflichtige Zusatzleistungen erweitert.	Pay-per-use Es wird die Nutzung eines Service auf Basis von Leistungseinheiten oder Nutzungszeiträumen verrechnet.	Pay-for-performance Es wird die erbrachte Leistung eines Service auf Basis einer zu definierenden Ergebnisgröße verrechnet.

Bild 4-15: Referenzbausteine für Erlös-konzepte in Anlehnung an [GFC13, S. 73], [GWE+17], [WBW+17, S. 10]

Indirekte Erlöse

Indirekte Erlöse bedeuten, dass Kunden ein Service kostenlos bereitgestellt wird und Erlöse durch andere Quellen erzeugt werden. Value Add-on eignet sich, wenn ein Service den Wert eines Produkts steigert, aber nicht in den Vordergrund rückt und vergleichsweise niedrige Kosten verursacht. Der Service wird kostenlos bereitgestellt und durch (steigende) Erlöse des Produkts finanziert. Bei Leverage Customer Data werden Daten eines Service an Dritte verkauft oder für das Angebot andere Services genutzt (z.B. Verkauf optimierter Impeller eines Kompressors auf Basis der Monitoring-Daten). Wenn Services eine Kundenschnittstelle bilden (z.B. durch eine Smartphone-App), dann kann diese Schnittstelle als Werbefläche oder Verkaufspunkt an Dritte verkauft werden und versteckte Erlöse (Hidden Revenues) erzielen.

Fixe, wiederkehrende Erlöse

Durch Zahlung von regelmäßigen Pauschalbeträgen wird ein Service bereitgestellt. Bei einem Flatrate-Modell kann der Kunde einen Service in einem definierten Zeitraum unbegrenzt nutzen. Vorteil für Anbieter und Kunden sind die Planbarkeit von Kosten bzw. Erlösen. Nachteile sind eine zu geringe Nutzung (Kundenrisiko) oder eine zu intensive und schlecht planbare Nutzung (Anbieterrisiko). Ein Subscription-Modell beschreibt den Verkauf von Paketen oder die regelmäßige, automatische Bereitstellung von Services. Das Razor & Blade-Modell erzeugt den Haupterlös durch Zusatzleistungen, welche der Kunde nachkaufen muss (z.B. Verschleißteile oder Updates).

Nutzungsabhängige Erlöse

Es entstehen nur Erlöse, wenn der Kunde Services nutzt bzw. das Ergebnis dem Nutzenversprechen entspricht. Bei einem Freemium-Modell werden Erlöse nur bei Nutzung von Premium-Services generiert; eine Basisversion ist kostenlos und muss den Kunden überzeugen. Bei einem Pay-per-use-Modell wird nur bei Nutzung des Service eine Zahlung fällig und der Anbieter erzielt nur Erlöse, wenn der Kunde den Service nutzt. Der Vorteil sind hohe Erlöse bei intensiver Nutzung, welche dem Nachteil geringe Erlöse bei geringer Nutzung gegenübersteht. Bei einem Pay-per-performance-Modell übernimmt der Anbieter zusätzlich ein Qualitätsrisiko, da Zahlungen nur bei erfolgreicher Ausführung fällig werden. Die Ausführung wird anhand individueller Ergebnisgrößen bewertet, welche vielfältig und abhängig vom betrachteten Service sind. Durch die Übernahme der beschriebenen Risiken durch den Anbieter entstehen jedoch zusätzliche Nutzenversprechen, welche eingepreist werden können.⁹

4.3.3 Wirkstrukturelemente

Die Referenzbausteine für Wirkstruktur teilen sich in die drei Kategorien Sensorik, Kommunikationssystem und Nutzerschnittstelle als ordnende Gesichtspunkte. Elemente in diesen Kategorien sind notwendig, um Smart Services für ein bestehendes, physisches Produkt zu realisieren.

Sensorik

Mithilfe des Produkts können Daten bezüglich des Systems und dessen Umfeld erzeugt werden. Die Daten bilden die Basis für viele Smart Services, indem sie die physische Welt digital beschreiben [FST09, S. 99]. Sensoren können physikalische Größen qualitativ oder quantitativ messen und durch Weiterverarbeitung digitalisieren [HS12, S. 1]. Weiterhin sind Nutzerdaten relevant, welche subjektiv sind und empirischen Zusammenhängen zugrunde liegen (z.B. Lautstärke). Die Erfassung dieser Größen erfolgt durch vir-

⁹ Eine Übersicht der Nutzenversprechen findet sich bei STOPPEL/ROTH [SR17, S. 83].

tuelle Sensoren [HS12, S. 2]. Die Referenzbausteine beschreiben System- und Umfelddaten statt konkrete Sensoren oder Sensortechnologien. Auf Basis der Auswahl notwendiger Daten können situations- und systemspezifisch passende Sensoren oder entsprechende Technologien ausgewählt werden. Zusätzlich finden sich subjektive Daten in der Übersicht, welche virtuelle Sensoren benötigen.

Bild 4-16 zeigt eine Auswahl von relevanten System- und Umfelddaten für Smart Services aus bestehenden Katalogen [Rot01, S. 27], [PH18, S. 1]. Aufgrund der großen Vielfalt an möglichen Daten und messbaren Größen besteht kein Anspruch auf Vollständigkeit. Eine detaillierte Übersicht findet sich in den Konstruktionskatalogen von ROTH im Bereich Gliederungsmerkmale [Rot01, S. 27].

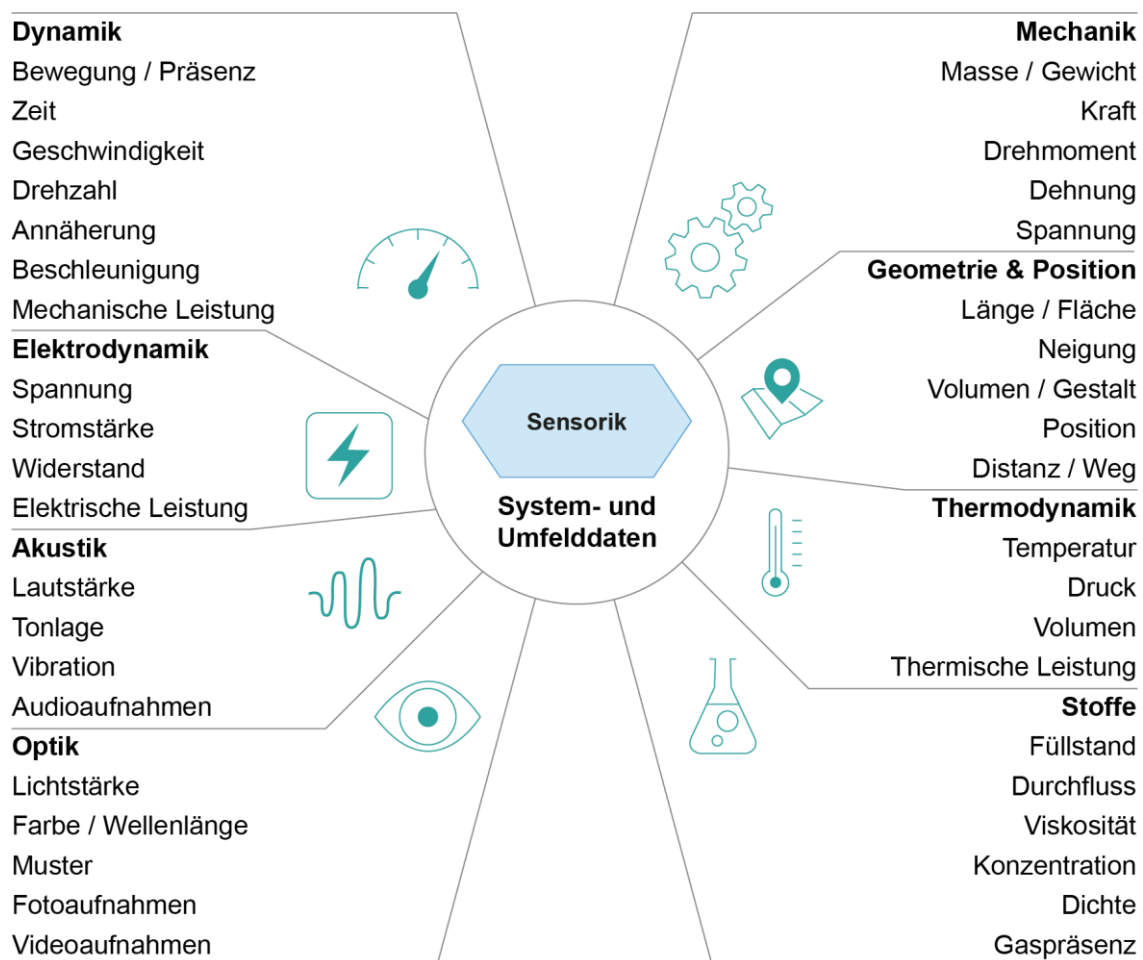


Bild 4-16: System- und Umfelddaten in Anlehnung an [Rot01, S. 27], [PH18, S. 1]

Kommunikationssystem

Für Schnittstellen zu anderen Systemen und insbesondere zentralen IT-Systemen werden nur Funktechnologien betrachtet, da Kabeltechnologien für Smart Services vernachlässigt werden können [Wol15, S. 1509]. Die wesentlichen Anforderungen an die Funktechnologien liegen in den Bereichen Bandbreite, Energieverbrauch und Reichweite.

Bild 4-17 zeigt Funktechnologien als Referenzbausteine in der Übersicht. Die Anordnung hinsichtlich Bandbreite, Energieverbrauch und Reichweite sind qualitativ, da genaue Werte u.a. von eingesetzter Hardware und Umgebung abhängen [Wol15, S. 1514].

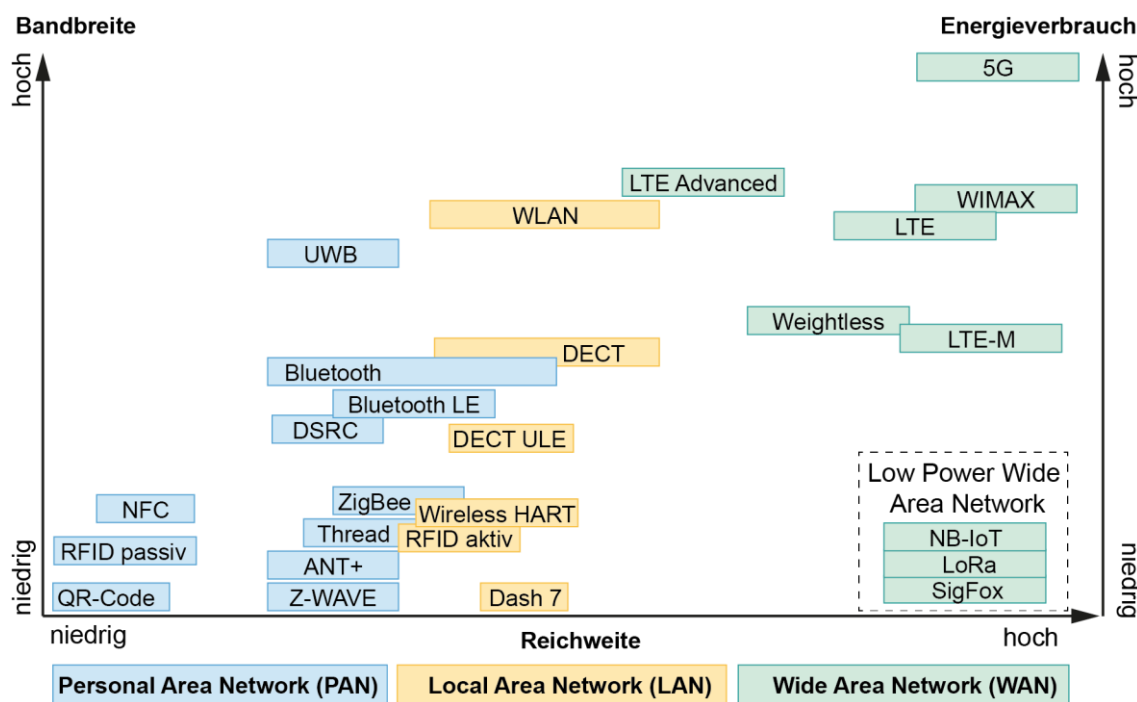


Bild 4-17: Funkstandards als Referenzbausteine für Konnektivität in Anlehnung an [MM16, S. 24] [PH18, S. 1], [Ver17, S. 35], [Wol15, S. 1510].

Die Technologien lassen sich grundsätzlich in drei Gruppen aufteilen, welche die Größe des Netzwerks und damit die Reichweite beschreiben: Personal, Local und Wide Area Network. In der Regel werden Technologien kombiniert, um letztendlich eine Internetanbindung mit dem Internetprotokoll TCP/IP zu erreichen [Wol15, S. 1512]. Weitere Anforderungen zur Auswahl einer Technologie oder Kombination mehrerer Technologien sind Latenzzeit, Robustheit, Skalierbarkeit, Platzbedarf und Kosten [SA07, S. 46].

Ein Konzept zur Kombination von zwei Technologien sind Gateways [Wol15, S. 1515], [Zen11, S. 12]. Zur Vernetzung von Systemen können Platzbedarf, Energieverbrauch und Kosten den Einsatz von WAN-Technologien verhindern, welche eine hohe Reichweite und eine Internetanbindung ermöglichen. Dann können LPWA-Technologien (Low Power Wide Area) eingesetzt werden, welche bei hoher Reichweite und geringem Energieverbrauch, wenig Bauraum benötigen sowie leicht und vergleichsweise günstig sind [SWH17, S. 15]. LPWA-Technologien werden in der Regel mit einem Gateway kombiniert, da sie keine Internetverbindung herstellen können, um Daten an zentrale IT-Systeme weiterzuleiten. Ein Anwendungsfall ist die Vernetzung einzelner Sensoren an mobilen Systemen, welche keine Stromversorgung besitzen (z.B. Container, Gasflaschen) oder vergleichsweise günstig und klein sein müssen (z.B. Ladungsträger für C-Teile).

Benutzerschnittstelle

Durch vernetzte Systeme entstehen komplexe Zusammenhänge und viele Informationen, welche verständlich visualisiert und an global verteilte Benutzer kommuniziert werden müssen [GSL14, S. 528]. Auf Basis der konkreten Anforderungen, müssen Art der Schnittstelle und Endgerät ausgewählt werden. In der Regel werden mehrere Arten von Schnittstellen kombiniert. Des Weiteren kann je nach Kontext eine andere oder modifizierte Schnittstelle vorgesehen werden (z.B. Expertenmodus und Bedienermodus). Bild 4-18 zeigt die ausgewählten Referenzbausteine in der Übersicht.








Art der Schnittstelle		Endgerät	
 Visuell <ul style="list-style-type: none"> • Lichtsignal • Display • Bilderkennung • Augmented Reality • Virtual Reality 	+	 Embedded Im System integrierte Endgeräte, wie festinstallierte Displays und Eingabegeräte	+
 Auditiv <ul style="list-style-type: none"> • Signalausgabe • Sprachausgabe • Spracherkennung 		 Webinterface / Desktop Flexible Endgerätenutzung durch Webinterfaces oder Desktopanwendungen	
 Taktil <ul style="list-style-type: none"> • Tasten • Maus / Tastatur • Vibration • Touchscreen 		 Mobil Mobile Endgeräte, welche universell einsetzbar sind, wie Smartphones und Tablets	
	 Wearable Mobile Endgeräte, welche am Körper befestigt werden, wie Uhren, Brillen oder Handschuhe		
Kontext			
Teilsystem Schnittstelle wird an das betreffende Teilsystem angepasst.	Zeit Schnittstelle wird an die absolute oder eine relative Zeit angepasst.	Standort Schnittstelle wird an den Standort des Zugriffs oder des (Teil-) Systems angepasst.	Identität Schnittstelle wird an eine einzelne Person oder eine Gruppe von Personen angepasst.

Bild 4-18: Referenzbausteine für Benutzerschnittstellen [AF15, S. 20], [Har15]

Art der Schnittstelle: Grundsätzlich kann zwischen visuellen, auditiven und taktilen Schnittstellen unterschieden werden. Im industriellen Umfeld sind Schnittstellen verbreitet, welche eine visuelle Ausgabe und eine taktile Eingabe ermöglichen (z.B. Desktopcomputer, Industriecomputer, festinstallierte Bedienelemente an Maschinen). Durch die Weiterentwicklung von Smartphones entstand mit dem Touchscreen eine multimodale Schnittstelle, welche aufgrund der natürlichen, taktilen Eingabe sehr intuitiv und gleichzeitig flexibel ist. Auditive Schnittstellen werden angewendet, wenn die visuelle Aufmerksamkeit des Benutzers durch die aktuelle Situation beansprucht ist [GSL14, S. 530]. Des Weiteren kann Augmented Reality genutzt werden, wenn die visuelle Aufmerksamkeit zwischen Schnittstelle und weiterer Tätigkeit geteilt werden muss (z.B. Datenbrille beim Kommissionieren oder Head-up Display beim Autofahren).

Endgerät: Die Endgeräte müssen die benötigte Art der Schnittstelle umsetzen. Insbesondere universelle Endgeräte wie Smartphones und Tablets bieten standardmäßig mehrere

Arten von Schnittstellen in einem Gerät, müssen aber an das System angebunden werden. Embedded Endgeräte sind vergleichsweise unflexibel, aber für einfache Services ausreichend und oft bereits vorhanden. Wenn eine Schnittstelle zu vielen Geräten und die Abbildung komplexer Informationen notwendig sind, dann ist ein Webinterface sinnvoll, welches mit verschiedenen Endgeräten genutzt werden kann (Computer, Tablets). Durch eine Internetanbindung können mobile Endgeräte eingesetzt werden, welche Benutzern mehr Flexibilität ermöglichen [GSL14, S. 532]. Durch Nutzung mobiler Endgeräte muss der Serviceanbieter in der Regel keine Hardware als Endgerät zur Verfügung stellen und lediglich eine Applikation für das Betriebssystem universeller Endgeräte entwickeln (z.B. Apple iOS oder Google Android). Wearables ermöglichen eine Schnittstelle, welche die Hände des Nutzers teilweise oder vollständig entlasten, um anderen Tätigkeiten parallel nachzugehen.

Kontext: Benutzerschnittstellen können kontext-sensitiv sein [GSL14, S. 532]. Abhängig vom Kontext, kann sich die Art der Schnittstelle verändern oder ein anderes Endgerät genutzt werden. So kann z.B. die Schnittstelle zu einem einzelnen Teilsystem mit einem einfachen Endgerät realisiert werden, wenn nur eine Ausgabe benötigt wird. Der Kontext Zeit kann absolut (Uhrzeit) oder relativ (Intervall) sein, d.h. die Schnittstelle kann nur zu einer bestimmten Uhrzeit oder für eine bestimmte Zeit freigeschaltet werden. Beim Kontext Ort ist der Standort des Benutzers zum System oder der Standort des (mobilen) Systems entscheidend. Die Identität kann sich auf einzelne Personen beziehen, wenn flexible oder mobile Endgeräte wie ein Webinterface oder ein Smartphone genutzt werden. Des Weiteren können für Gruppen oder einzelne Benutzer die angezeigten Informationen reduziert oder erweitert werden bzw. die möglichen Eingaben beschränkt werden (z.B. Expertenmodus und Bedienermodus).

4.3.4 Datenanalyse

Die fünf Schichten zur Beschreibung des Aspekts Datenanalyse beinhaltet die Elemente Anwendungsszenario, Analysefähigkeiten, Dateninfrastruktur, Datenbeschreibung und Datenquellen. Für die Elemente Analysefähigkeiten, Dateninfrastruktur und Datenquellen können Referenzbausteine definiert werden. Referenzbausteine für Anwendungsszenarien werden in Abschnitt 4.3.1 beschrieben. Die Datenbeschreibung ist individuell, wodurch sich keine Referenzbausteine bilden lassen. Bild 4-19 zeigt die Referenzbausteine in der Übersicht.

Analysefähigkeit: Das Ergebnis einer deskriptiven Datenanalyse sind Beschreibungen von Systemzuständen, welche sich nur durch Zusammenhänge verschiedener Größen ergeben. Rohdaten aus z.B. Sensorik und Steuerung werden verarbeitet und stellen Zusammenhänge dar (z.B. Energieverbrauch abhängig von der Tageszeit). Das Ergebnis einer diagnostischen Datenanalyse sind Gründe für Systemzustände durch eine weitere Interpretation der Daten (z.B. der Energieverbrauch steigt in Abhängigkeit eines Bauteilver-

schleißes). Das Ergebnis einer prädiktiven Datenanalyse sind zukünftige Systemzustände, welche aufgrund des aktuellen Systemzustands wahrscheinlich sind (z.B. ein Bauteil wird aufgrund des Energieverbrauchs in den nächsten sieben Tagen wahrscheinlich ausfallen). Das Ergebnis der präskriptiven Datenanalyse können Entscheidungsvorlagen oder die Entscheidung selbst sein, welche Maßnahmen einzuleiten sind (z.B. der Vorschlag ein neues Bauteil zu bestellen oder die Auslösung einer Bestellung und eines Serviceauftrags zum Bauteilwechsel).

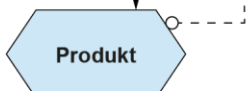
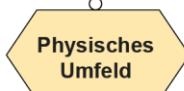
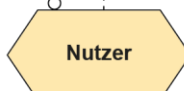
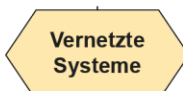
Analysefähigkeit			
Deskriptiv „Was ist passiert?“ Beschreibung von Systemzuständen	Diagnostisch „Warum ist es passiert?“ Beschreibung der Gründe für Systemzustände	Prädiktiv „Was wird passieren?“ Beschreibung von zukünftigen Systemzuständen	Präskriptiv „Was ist zu tun?“ Beschreibung von Entscheidungsvorlagen und deren Ausführung
Dateninfrastruktur			
Embedded Datenverarbeitung im Produktsystem selbst durch dezentrale Infrastrukturen	Gateway Vorverarbeitung an einer Zwischenstation zur zentralen Infrastruktur	Zentrale IT-Plattform Datenverarbeitung in zentraler, unternehmenseigener oder öffentlicher Infrastruktur (Cloud)	
Datenquellen			
Sensorik oder Steuerung im Produktsystem 	Sensorik im physischen Umfeld des Produktsystems 	Nutzer durch Dateneingabe oder Sensorik 	Umfeldsysteme durch Schnittstellen 

Bild 4-19: Referenzbausteine für die Datenanalyse in Anlehnung an [PH15, S. 10]

Dateninfrastruktur: Die Bausteine für eine Dateninfrastruktur beziehen sich auf den Standort. Eine eingebettete Dateninfrastruktur bietet den Vorteil der Nutzung bestehender Steuerungen und den Wegfall der Datenübertragung an zentrale IT-Systeme. Eine Vorverarbeitung durch ein Gateway ist bei großen Datenmengen und eingeschränkter Nutzung von Funktechnologien sinnvoll. Zentrale IT-Plattformen sind leistungsstärker und können Daten vieler, verteilter Systeme verarbeiten. Des Weiteren kann der Zugriff global und mobiler erfolgen.

Datenquellen: Bereits bestehende Sensorik und Steuerungen sind einfach zu erschließende Datenquellen. Durch Sensorik können Daten von Umfeldsystemen genutzt werden, zu denen keine Schnittstelle möglich ist. Der Nutzer kann Daten direkt über eine Benutzerschnittstelle an das System übertragen oder indirekt durch Sensorik am Körper. Vernetzte Systeme können global verteilt sein und beziehen sich nicht nur auf das physische Umfeld, wie z.B. zentrale IT-Systeme oder eine Wetterdatenbank.

4.4 Werkzeuge

Die Referenzarchitektur und die Referenzbausteine sind vielfältig nutzbar durch einzelne Personen oder in Teams, z.B. in Form von Workshops. Im Folgenden werden zwei Hilfsmittel vorgeschlagen, die eine weitergehende Nutzung zeigen und das Vorgehen der Konzipierung von Smart Services unterstützen. Ziel ist die Kreativität des Systemarchitekten zu steigern und gleichzeitig den Lösungsraum einzuschränken, indem bewährte Lösungen zu innovativen Konzepten kombiniert werden.

4.4.1 Verträglichkeitsmatrix

Die Beziehungen zwischen den Aspekten werden durch die aspektübergreifenden Verknüpfungen charakterisiert (vgl. Abschnitt 4.2.6). Die Beziehungen werden durch die Referenzbausteine konkreter und münden in Paaren von Bausteinen, die sich ergänzen und sinnvoll in einem Konzept kombinieren lassen. Es wurden die Referenzbausteine für Anwendungsszenarien gegen andere Referenzbausteine bewertet, da Anwendungsszenarien Ausgangspunkt der Konzipierung sind. Bild 4-20 zeigt einen Ausschnitt der Matrix mit der Bewertung von Anwendungsszenarien und Erlösmodellen. Die vollständige Matrix befindet sich im Anhang A2.

Verträglichkeitsmatrix			Erlösmodelle									
			Referenzbausteine	Value Add-on	Leverage Customer Data	Hidden Revenue	Flatrate	Subscription	Razor & Blade	Freemium	Pay-per-use	Pay-per-performance
Fragestellung: Wie verträglich sich Referenzbaustein i (Zeile) mit Referenzbaustein j (Spalte)?			Nr.	13	14	15	16	17	18	18	20	21
Bewertungsskala: 1: inkonsistent 2: neutral oder voneinander unabhängig 3: gegenseitige Unterstützung												
Anwendungsszenarien	Assistenz	Digitale Beratung	1	3	1	1	3	2	1	3	1	1
		Anleitung / Self-Service	2	3	1	3	3	1	3	3	1	1
		Fernzugriff	3	2	1	1	3	2	1	3	1	1
	Überwachung	Monitoring	4	2	3	2	2	3	2	3	2	1
		Hinweis / Warnung	5	1	2	1	3	1	3	3	1	1
		Serviceunterstützung	6	2	1	3	2	2	3	3	1	1
	Betrieb	Updates / Upgrades	7	1	1	1	2	3	3	3	2	1
		Autom. Bestellung	8	1	1	3	1	3	3	2	3	1
		Lebenszykluskosten	9	1	1	1	3	3	1	1	3	3
	Optimierung	Vorausschau	10	1	3	1	1	2	1	2	2	3
		Planung	11	1	3	2	1	1	2	3	3	3
		Autom. Einstellung	12	1	1	1	1	3	2	2	3	3

Wenn ein Pay-per-use Erlösmodell angestrebt wird, dann ist es sinnvoll mindestens eines der Anwendungsszenarien 8, 9, 11 oder 12 in die Marktleistung zu integrieren.

Kostenlose Updates werden durch kostenpflichtige Upgrades ergänzt und bilden damit ein attraktives Freemium-Erlösmodell.

Jede Bestellung verursacht Kosten für Material und Lieferung, wodurch ein Fixpreis für eine unbegrenzte Anzahl an Bestellungen nicht sinnvoll ist.

Wenn Lebenszykluskosten als Anwendungsszenario angestrebt wird, dann ist es sinnvoll, eines der Erlösmodelle 16, 17, 20 und 21 in die Marktleistung zu integrieren.

Bild 4-20: Verträglichkeitsmatrix in Anlehnung an KÖCKERLING [Köc03, S. 84]

In Anlehnung an KÖCKERLING wurden die Referenzbausteine von einer Darstellung in morphologischen Zeilen (vgl. Abschnitt 4.3) in eine Verträglichkeitsmatrix überführt [Köc03, S. 84]. Bei der zeilen- und spaltenweisen Betrachtung kann überprüft werden, welche weiteren Bausteine zum ausgewählten Baustein passen. Bei der zellenweisen Betrachtung kann überprüft werden, ob zwei spezifische Bausteine zueinander passen. Es wird von einer ungerichteten Verträglichkeit ausgegangen, d.h. die Matrix kann ohne Unterschied zeilen- oder spaltenweise gelesen werden. Dennoch kann die Matrix aus unterschiedlichen Sichten betrachtet werden, abhängig vom Anwendungsfall. Bild 4-21 zeigt die Sichten und Anwendungsfälle der Matrix.

Verträglichkeitsmatrix	Anwendungsszenarien	Erlös-konzepte	Wirkstruktur	Datenanalyse	
Anwendungsszenarien	Anwendungsszenarien untereinander sind immer verträglich	Anwendungsszenarien erfordern Erlös-konzepte	Anwendungsszenarien erfordern Wirkstruktur-elemente	Anwendungsszenarien erfordern Datenanalyse	Horizontale Sicht zur Umsetzung ausgewählter Anwendungsszenarien
Erlös-konzepte	Erlösmodelle ermöglichen Anwendungsszenarien	Spezifische Sicht auf die Bewertung von zwei Aspekten (vgl. Bild 4-19 als Beispiel)			
Wirkstruktur	Wirkstruktur-elemente ermöglichen Anwendungsszenarien	Vertikale Sicht zur Ableitung von Potentialen einer bestehenden Marktleistung			
Datenanalyse	Datenanalysen ermöglichen Anwendungsszenarien				

Bild 4-21: Sichten und Anwendungsfälle der Verträglichkeitsmatrix

Anwendungsszenarien untereinander unterstützen sich immer gegenseitig, wodurch diese Bewertung nicht dargestellt wird. In der vertikalen Sicht können Anwendungsszenarien identifiziert werden, welche zu bereits vorhanden Bausteinen passen. In der horizontalen Sicht können für gewünschte Anwendungsszenarien konsistente Bausteine der anderen Aspekte identifiziert werden. Die spezifische Sicht ermöglicht die übersichtliche Betrachtung eines kleinen Ausschnitts der Matrix.

Die Verträglichkeitsbewertung ist eine Empfehlung und soll den Systemarchitekten dabei unterstützen ein Konzept mit zueinander konsistenten Bausteinen zu entwickeln. Die Bewertung ist pauschal und deshalb limitiert, da sich Verträglichkeiten beim Ausprägen der Bausteine fallspezifisch verändern können. Eine Bewertung der anderen Bausteine untereinander ist nur fallspezifisch und nach Ausprägen der Bausteine möglich. Darüber hinaus wurden die Referenzbausteine für die Verträglichkeitsbewertung nicht vollständig übernommen, sondern teilweise in Gruppen zusammengefasst (z.B. Bausteine der Wirkstruktur), da eine einzelne Bewertung der Bausteine nicht notwendig ist.

und Ansteuerung der Aktorik entstehen. Zur genaueren Spezifikation der Datenquellen innerhalb des Systems, können mehrere Systemelemente modelliert und das System nicht als Blackbox dargestellt werden.

Physisches Umfeld: Hierunter wird das lokale Umfeld eines Systems verstanden, d.h. der Ort, an dem sich der physische Teil des Systems befindet. Im Umfeld können sich andere mechatronische Systeme befinden, welche Daten erzeugen, die über Schnittstellen genutzt werden können. Insbesondere wenn es sich um vor- oder nachgelagerte Systeme in einem Prozess handelt, ist eine bestehende Schnittstelle zum Datenaustausch wahrscheinlich. Sofern keine Schnittstelle besteht und nicht geschaffen werden kann, können mithilfe von Sensorik Daten bezüglich der Umfeldsysteme erzeugt werden.

Digitales Umfeld: Durch eine Verbindung zu einem größeren Netzwerk entsteht ein digitales, globales Umfeld. Bei dem Netzwerk kann es sich um geschlossene (z.B. unternehmenseigene) Netzwerke oder das Internet handeln. Durch die Verbindung zum Internet wird die Anzahl der potentiellen Datenquellen deutlich erhöht. Bei den Umfeldelementen kann es sich um andere mechatronische Systeme oder IT-Systeme handeln, welche durch eine Schnittstelle Daten an das betrachtete System liefern können.

Dienste: Internet-basierte Dienste können insbesondere allgemeine Daten an das System liefern und die spezifischen Daten bezüglich des Systems und dessen Umfeld ergänzen. Beispiele sind Wetter-, Preis- oder Positionsdaten.

Nutzer: Nutzerdaten gelangen durch direkte Eingabe in das System, sofern eine Nutzerschnittstelle vorhanden ist. Vorteil von Nutzerdaten ist eine hohe Datengüte. Das heißt, der Nutzer kann komplexe Zusammenhänge zu Daten abstrahieren und in das System eingeben. Nachteil sind Schwankungen der Datengüte, wenn dem Nutzer Anreize oder Kenntnisse fehlen. Eine weitere Möglichkeit sind Sensoren, welche Daten bezüglich des Nutzers erzeugen.

Bei der **Spezifikation der Datenlandkarten** kann nur der Status quo abgebildet werden oder die Potentiale des Systems miteinbezogen werden. Die Potentiale sind Schnittstellen zu anderen Systemen, welche noch nicht bestehen, aber naheliegend sind und mit vergleichsweise geringem Aufwand umgesetzt werden können. Ob Potentiale miteinbezogen werden, hängt vom Modellierungszweck und der Komplexität des Systems ab. Wenn bei der Konzipierung von Smart Services die Potentiale des Systems genutzt werden sollen, dann ist es sinnvoll auch noch nicht vorhandene Schnittstellen und Datenflüsse abzubilden. Wenn das Datenumfeld des Systems sehr komplex ist, dann ist es sinnvoll, Status quo und Potentiale auf zwei Datenlandkarten aufzuteilen.

4.5 Vorgehensmodell

Das Vorgehensmodell zeigt die Anwendung der Bestandteile der Systematik zur Konzipierung von Smart Services. Ziel ist ein Konzept eines oder mehrerer Smart Services für ein bereits vorhandenes, physisches Produkt, bei dem es sich um ein mechatronisches System handelt. Bereits bestehenden Dienstleistungen für das Produkt (z.B. Wartung und Reparatur) werden ebenfalls betrachtet. Bild 4-23 zeigt das Vorgehensmodell mit drei Phasen in der Übersicht.

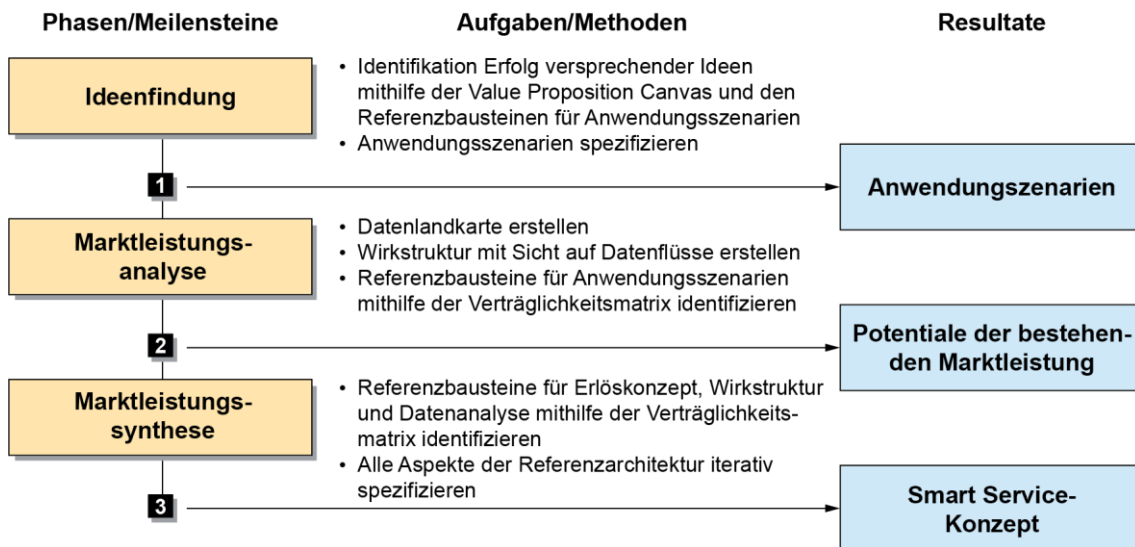


Bild 4-23: Vorgehensmodell zur Konzipierung von Smart Services

4.5.1 Phase 1: Ideenfindung

Die Ausgangssituation des Vorgehensmodells ist eine bestehende Marktleistung, welche um Smart Services erweitert werden soll. Zum einen kann eine konkrete Stoßrichtung und entsprechende Ideen feststehen, welche sich aus Markt- und Kundenumfeld ergeben. Zum anderen kann das Ziel die Nutzung bestehender Funktionen und Komponenten des Systems sein. Hierzu sind Ideen zu fokussieren, welche mit minimalen Änderungen realisiert werden können. In beiden Fällen sind die Referenzbausteine für Anwendungsszenarien ein Mittel zur Orientierung und Ideenfindung.

Zur Ideenfindung wird zusätzlich die Methode Value Proposition Canvas genutzt, um insbesondere das Nutzenversprechen von Serviceideen zu identifizieren [GWE+17, S. 46]. Bild 4-24 zeigt die Value Proposition Canvas zur Ideenfindung am Beispiel einer Spülmaschine für den gewerblichen Gebrauch im Überblick.

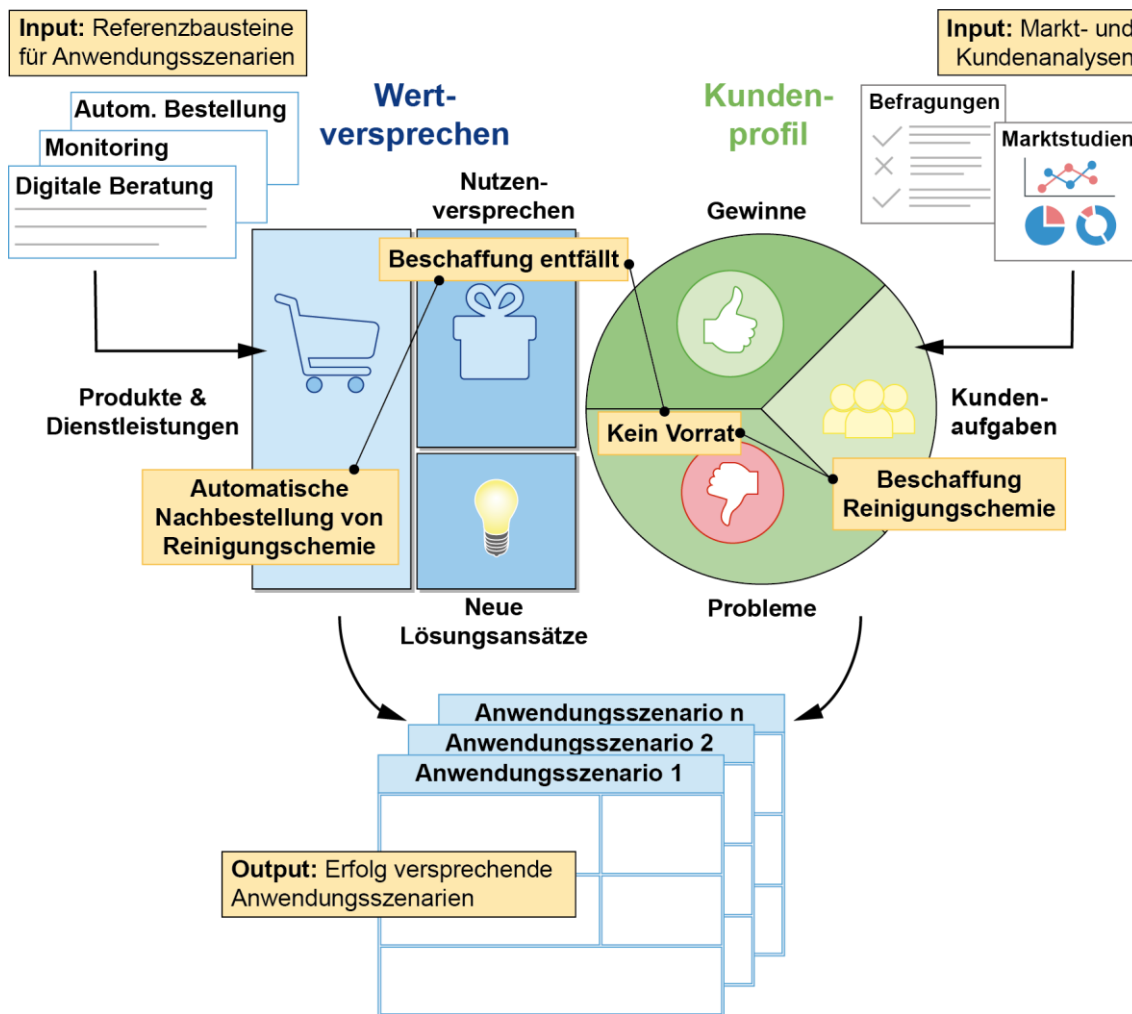


Bild 4-24: Ideenfindung mithilfe der Referenzbausteine und der Value Proposition Canvas am Beispiel einer Spülmaschine für den gewerblichen Gebrauch

Die rechte Seite der Value Proposition Canvas (in grün) wird als Kundenprofil bezeichnet. Kundenaufgaben sind notwendige Tätigkeiten rund um den Betrieb eines Systems bei deren Durchführung Gewinne und Probleme auftreten. Gewinne sind Situationen oder Zustände, die den Kunden erfreuen. Marktleistungen müssen Gewinne erzeugen oder Probleme lösen, um eine Zahlungsbereitschaft bei den Kunden zu erzeugen. Die linke Seite der Value Proposition Canvas (in blau) wird als Wertversprechen bezeichnet. Produkte und Dienstleistungen sind die Bestandteile der Marktleistung, welche dem Kunden angeboten werden. Das Nutzenversprechen beschreibt, wie die Produkte und Dienstleistungen Gewinne erzeugen oder Probleme lösen. Neue Lösungsansätze werden in einem eigenen Feld dokumentiert [GWE+17, S. 46].

Als Input für die Ideenplanung dienen bestehende Markt- und Kundenanalysen sowie die Referenzbausteine für Anwendungsszenarien. Im ersten Schritt wird auf Basis der Ergebnisse der Markt- und Kundenanalysen das Kundenprofil erarbeitet. Im zweiten Schritt erfolgt ein Abgleich der Referenzbausteine mit dem Kundenprofil. Ziel sind Referenzbausteine, welche einen Gewinn erzeugen oder ein Problem lösen. Dies ist der Fall, wenn

durch die Formulierung eines Nutzenversprechens alle Elemente miteinander verbunden werden können. Ein Service kann mehrere Nutzenversprechen besitzen. Ein Nutzenversprechen kann wiederum mehrere Gewinne erzeugen bzw. Probleme lösen. Erfolg versprechende Ideen müssen eine durchgängige Kette durch die Value Proposition Canvas bilden und werden dann mit dem Aspekt Anwendungsszenario weiter spezifiziert. Die Anwendungsszenarien sind Resultat der ersten Phase.

4.5.2 Phase 2: Marktleistungsanalyse

Die erste Tätigkeit der Marktleistungsanalyse ist die Erstellung einer Datenlandkarte für die betrachtete Marktleistung. Bild 4-25 zeigt das Vorgehen in der Übersicht.

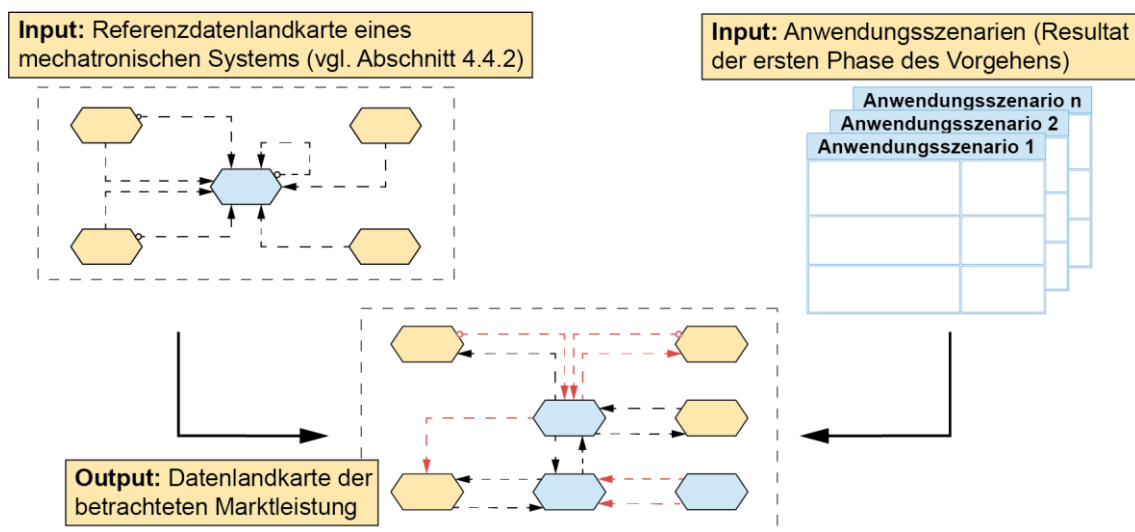


Bild 4-25: Vorgehen zur Erstellung einer Datenlandkarte

Als Input dient die Referenzdatenlandkarte und die in der ersten Phase des Vorgehens identifizierten Anwendungsszenarien. Das Umfeld des bestehenden Systems wird hinsichtlich relevanter Datenquellen und Schnittstellen analysiert, welche die wesentlichen Aktivitäten der Anwendungsszenarien unterstützen. Resultat ist eine Datenlandkarte, welche relevante Datenquellen und Schnittstellen und damit Potentiale aufzeigt. Wenn es sich um ein komplexes Datenumfeld handelt, dann können zwei Datenlandkarten erstellt werden: Bestehende Datenquellen und Schnittstellen sowie potentielle Datenquellen und Schnittstellen.

Als zweite Tätigkeit der Marktleistungsanalyse wird die Wirkstruktur der bestehenden Marktleistung erstellt und analysiert. Die Referenz-Wirkstruktur für Smart Services dient als Input. Es werden Systemelemente aus den Bereichen Sensorik, Konnektivität, Benutzerschnittstelle und Datenverarbeitung in einer Wirkstruktur dokumentiert und nur Datenflüsse zwischen den Elementen abgebildet. So kann es vorkommen, dass relevante Elemente ohne Beziehung dargestellt werden, da bisher kein Datenfluss vorhanden ist. Bild 4-26 zeigt das Vorgehen zur Erstellung der Wirkstruktur.

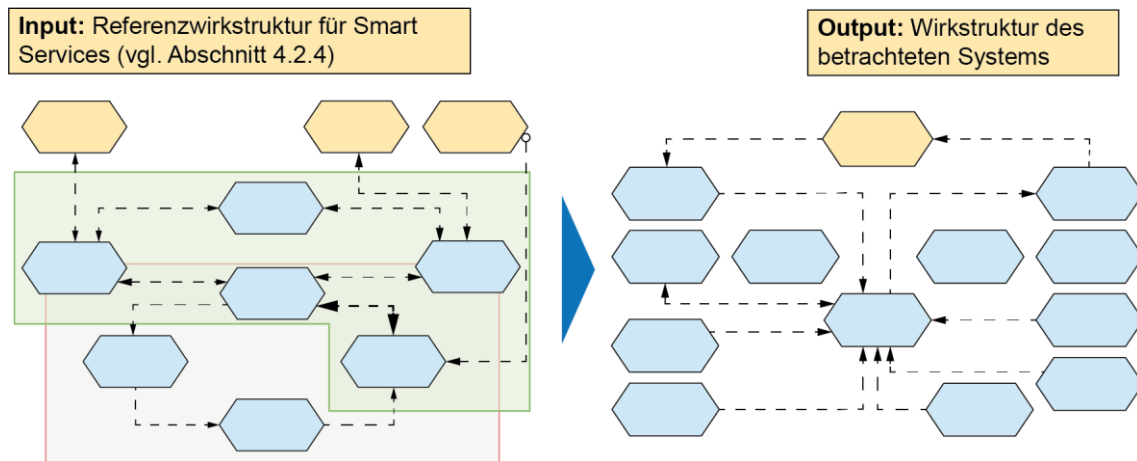


Bild 4-26: Vorgehen zur Erstellung einer Wirkstruktur für Smart Services

Als dritte Tätigkeit der Marktleistungsanalyse werden verträgliche Referenzbausteine für Anwendungsszenarien identifiziert. Hierzu wird die vertikale Sicht auf die Verträglichkeitsmatrix genutzt, bei der ausgehend von Bausteinen im Bereich Erlös-konzept, Wirkstruktur und Datenanalyse auf synergetische Anwendungsszenarien geschlossen wird. Bild 4-27 zeigt das Vorgehen zur Analyse in der Übersicht.

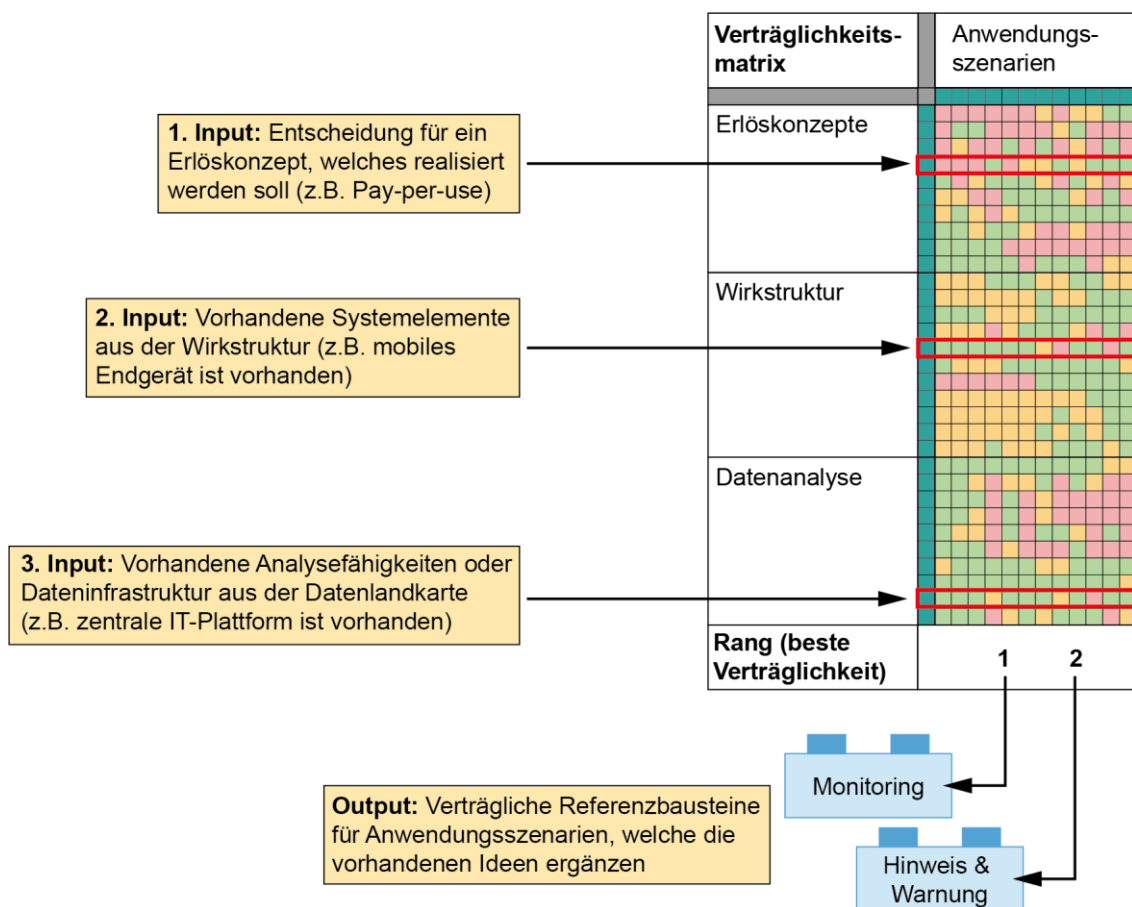


Bild 4-27: Nutzung der vertikalen Sicht auf die Verträglichkeitsmatrix

Der erste Input ergibt sich aus der Entscheidung ein spezifisches Erlös-konzept zu reali-sieren. Beispielsweise kann die Entscheidung getroffen werden, ein Pay-per-Use Erlös-konzept für das bestehende Produkt anzubieten und dies mit Smart Services zu realisie-ren. In der Verträglichkeitsmatrix werden Anwendungsszenarien deutlich, welche die Re-alisierung des geplanten Erlös-konzepts unterstützen.

Als zweiter Input dienen Elemente aus der zuvor spezifizierten Wirkstruktur, welche be-reits am System vorhanden sind, wie z.B. Sensorik oder Nutzerschnittstellen. Diese Ele-mente werden in der Matrix zugeordnet und weisen auf Anwendungsszenarien hin, wel-che mit diesen Elementen bereits technisch realisiert werden können.

Dritter Input sind vorhandene Analysefähigkeiten und Dateninfrastruktur aus der Daten-landkarten, wie z.B. deskriptive Analysefähigkeiten oder ein zentrale IT-Plattform. Auch hier weisen die Elemente dann auf Anwendungsszenarien hin, welche einfach mit den vorhandenen Elementen realisiert werden können.

Nach Zuordnung wird eine Rangfolge gebildet, welche Anwendungsszenarien die höchste Verträglichkeit mit den vorhandenen Bausteinen besitzen. Dazu werden für jede Spalte die Anzahl der mit drei bewerteten Paare summiert und in Relation zur Gesamtanzahl der mit drei bewerteten Paare innerhalb der Spalte gesetzt. Die bisherigen Ser-viceideen werden bezüglich einer Ergänzung um die verträglichsten Anwendungsszena-rien überprüft und damit weiter ausgeprägt.

4.5.3 Phase 3: Marktleistungssynthese

Die weiter ausgeprägten Serviceideen in Form von Anwendungsszenarien werden der horizontalen Verträglichkeitsmatrix zugeordnet, um Bausteine zur weiteren Konzipie-rung der Ideen abzuleiten. Bild 4-28 zeigt dieses Vorgehen.

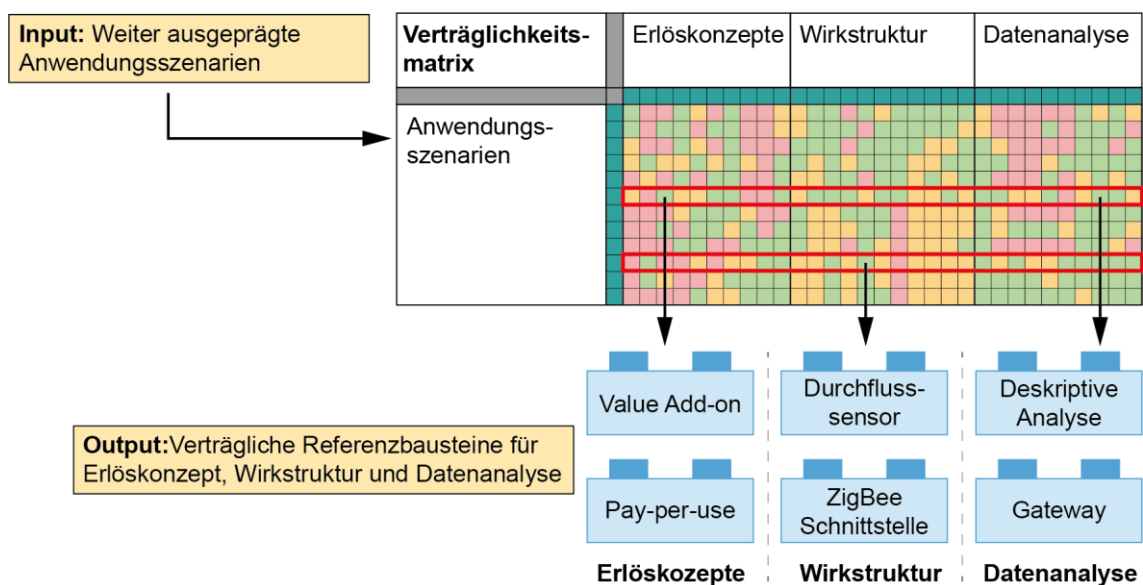


Bild 4-28: Nutzung der horizontalen Sicht auf die Verträglichkeitsmatrix

Die Anwendungsszenarien werden wieder Referenzbausteinen zugeordnet, auf denen sie basieren. Durch zeilenweise Betrachtung der Matrix können verträgliche Bausteine für Erlös-konzepte, Wirkstrukturelemente und Datenanalyse abgeleitet werden. Es zeigen sich Bausteine, welche bisher nicht vorhanden sind, aber fallspezifisch sinnvoll integriert werden können. Die Bildung einer Rangfolge ist nicht notwendig, da konsistente Bausteine durch weniger Zeilen in der horizontalen Sicht besser erkennbar sind.

Im letzten Schritt werden die ausgewählten Referenzbausteine genutzt, um alle Aspekte der Referenzarchitektur zu spezifizieren. Bild 4-29 zeigt das Vorgehen auf Basis der aspektübergreifenden Verknüpfungen.

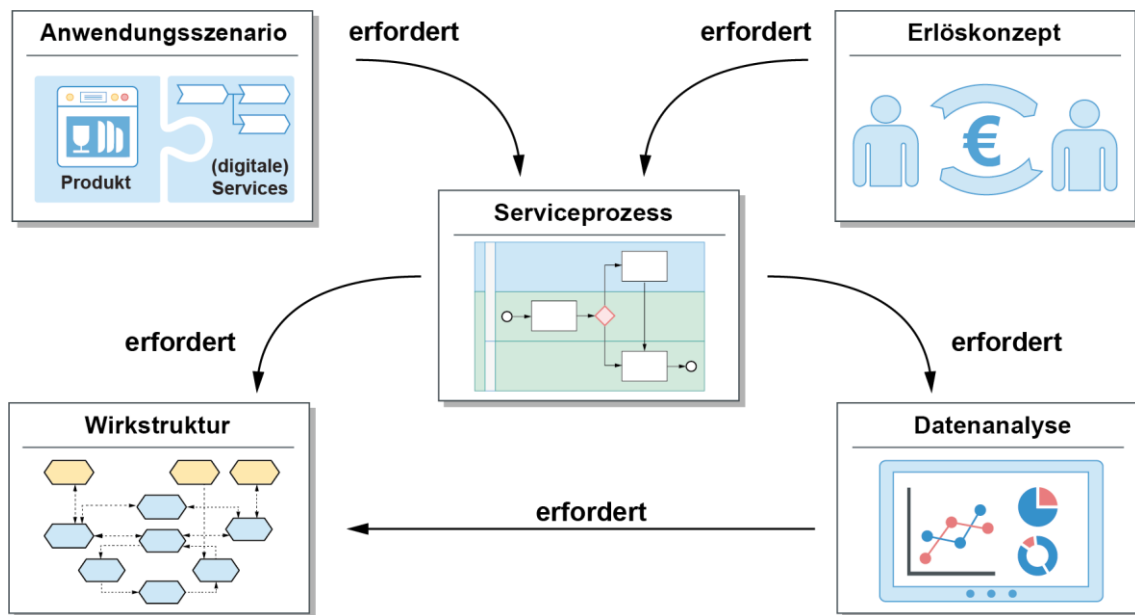


Bild 4-29: Vorgehen zur vollständigen Spezifikation des Smart Service-Konzepts

Entsprechend der Verknüpfungen zwischen den Aspekten werden hierzu als erstes die Anwendungsszenarien und das Erlös-konzept ausgeprägt. Diese erfordern Serviceprozesse, welche wiederum Veränderungen an der Wirkstruktur und eine Datenanalyse erfordern. Die Datenanalyse kann ebenfalls Änderungen an der Wirkstruktur erfordern. Ergebnis ist ein vollständiges Konzept eines oder mehrerer Smart Services.

5 Anwendung und Bewertung

In diesem Kapitel wird die Anwendung der Systematik zur Konzipierung von Smart Services für mechatronische Systeme gezeigt. Mit der Anwendung erfolgt eine Validierung, ob die Systematik den geforderten Anforderungen entspricht. Die Anwendung erfolgt am Beispiel einer Spülmaschine für den gewerblichen Gebrauch. Das Vorgehensmodell wird unter Nutzung der Bestandteile des Rahmenwerks durchlaufen. Abschließend erfolgt eine Bewertung anhand der Anforderungen aus der Problemanalyse.

5.1 Anwendungsbeispiel

Das betrachtete Unternehmen ist Hersteller von Premium-Haushaltgeräten für die Küche, Wäsche- und Bodenpflege sowie von Geräten für den Einsatz in Gewerbebetrieben und medizinischen Einrichtungen. Das Produktportfolio im Bereich der Geräte für Gewerbebetriebe umfasst verschiedene Geschirrspülmaschinen mit zwei unterschiedlichen Spülsystemen. Maschinen mit Frischwasser-Spülsystem sind für geringes bis mittleres Spülaufkommen ausgelegt. Maschinen mit Tank-Spülsystem sind für hohes Spülaufkommen und Dauereinsatz ausgelegt.

Maschinen mit einem Frischwasser-Spülsystem stehen unter anderem im Wettbewerb mit Maschinen aus dem Privatkundenbereich, da es sich um das gleiche Spülsystem handelt. Einige Gewerbekunden vernachlässigen die Betriebskosten bei ihrer Kaufentscheidung und bevorzugen einen niedrigen Anschaffungspreis. Ein Beispiel sind Kindertagesstätten mit einem vergleichsweise geringen Spülaufkommen von vier bis sieben Spülzyklen pro Tag. Nach einer unternehmensinternen Studie kommen in diesem Kundensegment viele Haushaltsmaschinen zum Einsatz, da diese vermeintlich geeignet sind. Für Haushaltsmaschinen handelt es sich hierbei jedoch um eine intensive Nutzung, welche in der Regel hohe Wartungs- und Reparaturkosten zur Folge hat. Es fehlt an einer Übersicht der laufenden Kosten des Systems, um Spülmaschinen für den privaten und gewerblichen Verbrauch besser vergleichen zu können.

Der Lösungsansatz zur Bewältigung dieser Herausforderung ist eine Anpassung des Geschäftsmodells und das Angebot von Smart Services. Kunden sollen zukünftig pro Spülzyklus für die Nutzung des Systems zahlen und darüber hinaus keine Kosten tragen. Der hohe Anschaffungspreis entfällt und die Kosten über den gesamten Lebenszyklus werden transparent und planbar. Darüber hinaus sollen weitere Smart Services angeboten werden, welche auf die Anforderungen gewerblicher Kunden zugeschnitten sind, um eine Differenzierung von Haushaltsmaschinen zu erreichen.

5.2 Phase 1: Ideenfindung

Die bestehende Marktleistung ist im betrachteten Fall eine Spülmaschine für den gewerblichen Gebrauch mit einem Frischwasserspülsystem. Darüber hinaus werden bereits klassische After Sales Services angeboten: Durch unternehmenseigene Servicetechniker können Inbetriebnahme, Wartung und Reparatur der Systeme durchgeführt werden.

In einer Reihe von Workshops wurden Serviceideen gesammelt. Die Teilnehmer kamen aus den Unternehmensbereichen Produktmanagement, Vertrieb, Controlling und Entwicklung, um verschiedene Sichtweisen auf die Marktleistung abzubilden. Die Kundenanalyse wurde für das Segment der Kindertagesstätten durchgeführt. Als Basis dienten bestehende Studien, welche um Kundeninterviews und Ergebnisse interner Workshops ergänzt wurden. Bild 5-1 zeigt die Value Proposition Canvas mit einem Ausschnitt der identifizierten Elemente.

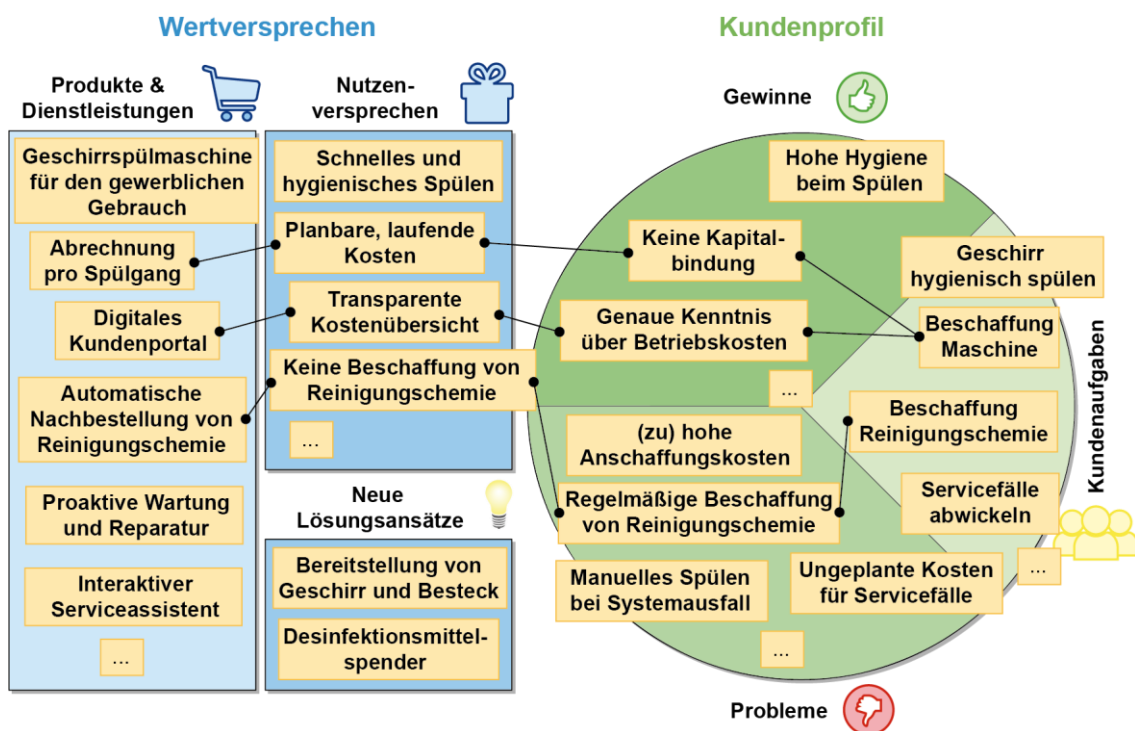


Bild 5-1: Ausschnitt der Value Proposition Canvas

Das Kundenprofil zeigt Kundenaufgaben, Gewinne und Probleme, welche spezifisch für gewerbliche Spülmaschinen und das betrachtete Kundensegment sind. So ist die Beschaffung von Reinigungskemie mit dem Problem verbunden, diese Aufgabe regelmäßig zu erledigen. Im Vergleich zum Privathaushalt muss hierfür eine Bestellung aufgeben werden, um eine Lieferung zu erhalten. Servicefälle bedeuten ungeplante Kosten für ein Kundensegment mit in der Regel knappen Budgets. Wenn es zu Ausfällen kommt, führt das notwendige manuelle Spülen zu Ressourcenengpässen in anderen Bereichen, wie zum Beispiel der Kinderbetreuung.

Das Wertversprechen stellt den Gewinnen und Problemen Smart Services entgegen. Insgesamt wurden fünf Ideen ausgewählt, da diese durch ein definiertes Nutzenversprechen Probleme lösen und Gewinne erzeugen, und damit Erfolg versprechende Ideen sind. Bild 5-1 zeigt aus Gründen der Übersichtlichkeit nur für drei Beispiele die Verbindung von Service, Nutzenversprechen, Gewinn bzw. Problem und Kundenaufgabe. Nur Kombinationen mit dieser Verbindung werden weiterverfolgt.

Bild 5-2 zeigt die ausgewählten Ideen, welche als Anwendungsszenario detaillierter spezifiziert wurden. Die automatische Nachlieferung von Reinigungschemie adressiert das Problem der regelmäßigen Beschaffung. Ein digitales Kundenportal ermöglicht eine transparente Kostenübersicht und unterstützt Kaufentscheidungen für neue, weitere Systeme auf Basis der Auslastung. Die Abrechnung pro Spülgang sorgt für planbare, laufende Kosten und die hohen Anschaffungskosten entfallen. Eine proaktive Wartung minimiert die Ausfallzeiten und zeitaufwendiges manuelles Spülen bei Ausfällen. Ein interaktiver Serviceassistent soll es dem Kunden ermöglichen, einfache Wartungen und Reparaturen selbst durchzuführen, wodurch Ausfallzeiten und Kosten gesenkt werden.

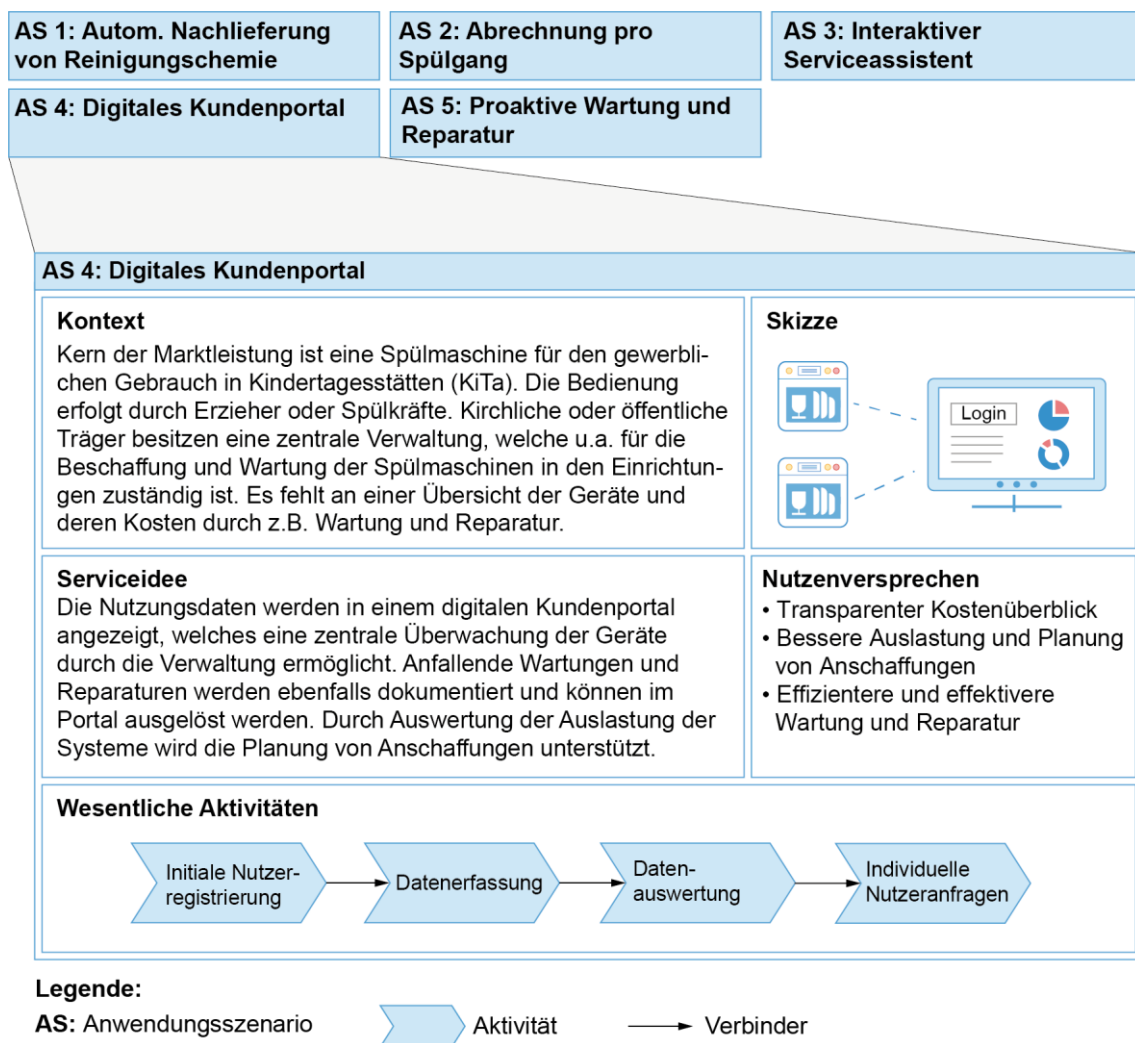


Bild 5-2: Anwendungsszenarien (AS) im Überblick und AS 4 (Digitales Kundenportal) im Detail

5.3 Phase 2: Marktleistungsanalyse

Die erste Tätigkeit der Marktleistungsanalyse ist die Erstellung der Datenlandkarte vor dem Hintergrund des betrachteten Kundensegments und der konzipierten Anwendungsszenarien. Bild 5-3 zeigt die Datenlandkarte für gewerbliche Spülmaschinen im Umfeld von Kindertagesstätten. Es wurden vorhandene als auch nicht vorhandene, aber notwendige Daten bzw. Schnittstellen abgebildet.

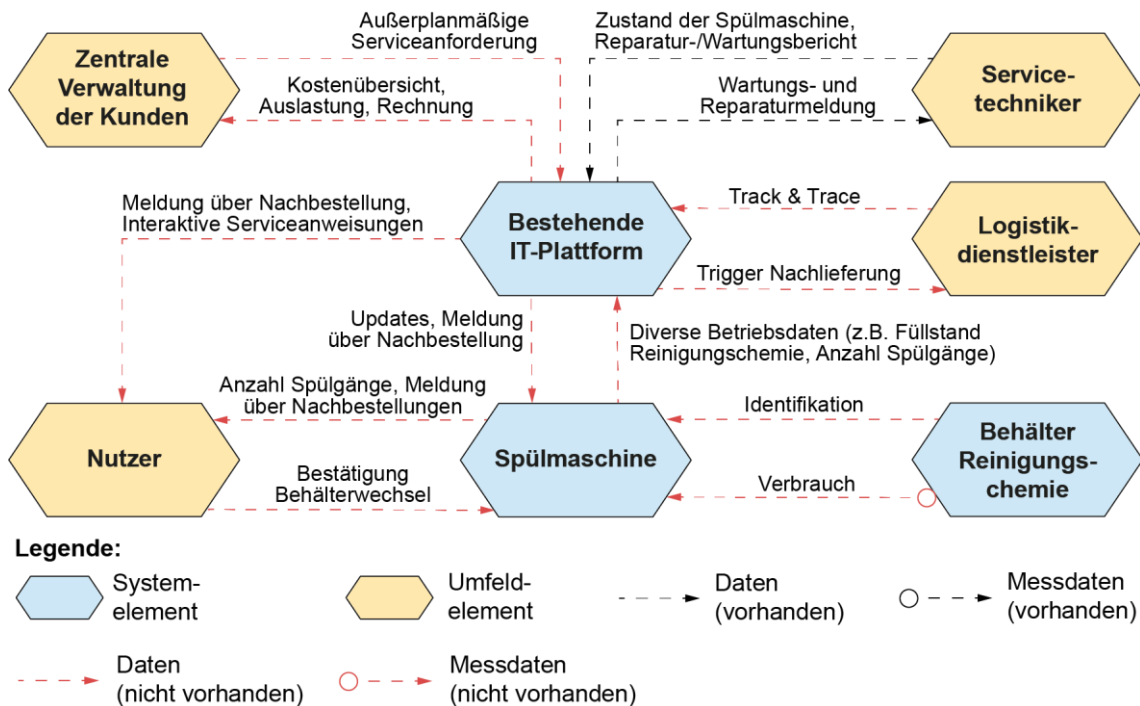


Bild 5-3: Datenlandkarte einer gewerblichen Spülmaschine

Zur Nachbestellung von Reinigungsmittel ist der Verbrauch und eine Identifikation des Behälters notwendig, um eine korrekte Nachbestellung auszulösen und Missbrauch zu vermeiden. Die Nachbestellung soll über einen Logistikdienstleister abgewickelt werden, wozu eine Schnittstelle von der IT-Plattform zum Dienstleister geschaffen werden muss. Durch Sammeln diverser Betriebsdaten kann die proaktive Wartung und Auswertung der Auslastung durchgeführt werden. Die Nutzer sollen über anstehende Nachlieferungen direkt über die Spülmaschine informiert werden. Weitergehende Daten können über die bestehende IT-Plattform bereitgestellt werden. Diese bildet die Schnittstelle zur zentralen Verwaltung der Kindertagesstätten und soll u.a. Rechnungen bereitstellen.

Als zweite Tätigkeit der Marktleistungsanalyse wurde eine Wirkstruktur der bestehenden Marktleistung erstellt. Hierbei wurden nur die für die Anwendungsszenarien relevanten Elemente abgebildet und Flussbeziehungen auf Daten und Messdaten reduziert. Im Status quo konnten eine Reihe von Datenpunkten im System identifiziert werden, welche bisher nur durch Servicetechniker ausgelesen und genutzt werden.

Bild 5-5 zeigt einen Ausschnitt der Verträglichkeitsmatrix auf Basis des zuvor beschriebenen Inputs. Die grün markierten Referenzbausteine sind in der bestehenden Marktleistung vorhanden. Die grün markierten Felder zeigen verträgliche Paare von vorhandenen Referenzbausteinen und möglichen Anwendungsszenarien.

Verträglichkeitsmatrix (Ausschnitt)			Anwendungsszenarien												
			Referenzbausteine	Digitale Beratung	Anleitung und Self-Service	Fernzugriff	Monitoring	Hinweis / Warnung	Serviceunterstützung	Updates / Upgrades	Autom. Bestellung	Lebenszykluskosten	Vorausschau	Planung	Autom. Manipulation
Fragestellung: Wie verträgt sich Anwendungsszenario i (Zeile) mit Erlösmodell j (Spalte)?			Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Bewertungsskala: 1 = inkonsistent 2 = neutral oder voneinander unabhängig 3 = gegenseitige Unterstützung															
Referenzbausteine															
Erlösmodelle	Nutzungsabhängige Erlösmodelle	Freemium	19	3	3	3	3	3	3	3	2	1	2	3	2
		Pay-per-use	20	1	1	1	2	1	1	2	3	3	2	3	3
		Pay-per-performance	21	1	1	1	1	1	1	1	1	3	3	3	3
Wirkstruktur	Sensorik	Nutzung von Sensordaten	22	2	2	1	3	3	3	1	3	3	3	3	3
		Vernetzung des Systems	23	2	2	3	3	2	2	3	3	3	2	2	2
	Nutzerschnittstelle	Eingabeschnittstelle	24	3	3	3	2	2	3	2	2	2	2	2	2
		Ausgabeschnittstelle	25	3	3	3	3	3	3	2	2	2	3	3	3
	Endgeräte für Serviceerbringung	Embedded	26	1	3	1	2	3	3	3	2	1	2	2	2
		Webinterface / Desktop	27	3	1	3	3	1	2	3	3	3	3	3	3
		Mobil	28	2	3	3	3	3	3	3	3	2	2	2	3
		Wearable	29	3	3	3	3	3	3	1	1	1	1	1	1
	Datenanalyse	Dateninfrastruktur	Embedded	38	1	3	1	2	3	3	1	3	1	2	2
Edge / Gateway			39	1	1	1	3	1	1	1	2	1	3	3	3
Zentrale IT-Plattform			40	3	3	3	3	2	2	3	3	3	3	3	2
Datenquellen		Systemdaten	41	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
		Nutzerdaten	42	3	3	1	3	2	3	3	3	2	3	3	3
		Umfelddaten	43	2	1	3	3	3	2	3	2	1	3	3	3
Summe konsistenter Elemente (Bewertung = 3)			∑	3	5	5	5	4	5	4	5	6	5	6	5
Rel. Häufigkeit konsistenter Elemente (in %)			∑	23	29	36	28	7	33	33	33	55	42	38	31
Rang			#	10	9	4	11	10	5	7	6	1	2	3	8

Bild 5-5: Ergebnis der Marktleistungsanalyse mithilfe der Verträglichkeitsmatrix

Die Rangfolge der relativen Häufigkeit konsistenter Paare zeigt, dass die bisher spezifizierten Anwendungsszenarien konsistent zu den vorhandenen Funktionen und Komponenten sind. Lediglich das Anwendungsszenario Fernzugriff findet sich bisher nicht unter den Resultaten der Ideenfindung. Da dieser Baustein jedoch kein Kundenproblem löst oder -gewinn erzeugt, wird er nicht weiter betrachtet.

5.4 Phase 3: Marktleistungssynthese

Die Anwendungsszenarien sind Resultat der Ideenfindung und wurden durch die Marktleistungsanalyse weiter ausgeprägt. In der Phase der Marktleistungssynthese werden die anderen Aspekte der Referenzarchitektur spezifiziert, um ein vollständiges Konzept zu erhalten.

Erlös-konzept

Vorgabe des Unternehmens war ein Pay-per-use oder ein Pay-per-performance Erlös-konzept zu realisieren, wodurch bereits eine Vorauswahl getroffen wurde, welche mit der Verträglichkeitsmatrix nur noch bestätigt werden kann. Bild 5-6 zeigt einen Ausschnitt der Verträglichkeitsmatrix, welcher ausgewählte Anwendungsszenarien den Erlös-konzepten gegenüberstellt.

Verträglichkeitsmatrix (Ausschnitt)			Erlösmodelle									
			Referenzbausteine	Value Add-on	Leverage Customer Data	Hidden Revenue	Flatrate	Subscription	Razor & Blade	Freemium	Pay-per-use	Pay-per-performance
Fragestellung: Wie verträgt sich Anwendungsszenario i (Zeile) mit Erlösmodell j (Spalte)?			Nr.	13	14	15	16	17	18	19	20	21
Bewertungsskala: 1 = inkonsistenz 2 = neutral oder voneinander unabhängig 3 = gegenseitige Unterstützung												
Referenzbausteine												
Anwendungsszenarien	Assistenz	Anleitung / Self-Service	2	3	1	3	3	1	3	3	1	1
	Überwachung und Steuerung	Monitoring	4	2	3	2	2	3	2	3	2	1
	Optimierung und Problemlösung	Autom. Bestellung	8	1	1	3	1	3	3	2	3	1
		Lebenszykluskosten	9	1	1	1	3	3	1	1	3	3
	Automatisierung und Betrieb	Vorausschau	10	1	3	1	1	2	1	2	2	3

Bild 5-6: Ausschnitt der Verträglichkeitsmatrix zur Ableitung von Erlös-konzepten

Die fünf gezeigten Anwendungsszenarien entsprechen den bisherigen Ideen aus den ersten beiden Phasen. So kann der Idee der Abrechnung pro Spülgang der Baustein Lebenszykluskosten zugeordnet werden, welcher konsistent zu den gewünschten Erlösmodellen Pay-per- und Pay-per-performance sind. Es zeigt sich jedoch auch, dass das Erlös-konzept Subscription ebenfalls konsistent zu den fünf Anwendungsszenarien ist und bei der Ausprägung des Erlös-konzepts berücksichtigt werden sollte.

Im nächsten Schritt erfolgt die Ausprägung des Erlös-konzepts für den Service „Abrechnung pro Spülgang“, da es sich hierbei um den dominanten Teil der Wertschöpfung handelt. Bild 5-7 zeigt einen Ausschnitt des Erlös-konzept-Diagramms, welches den identifizierten Nutzenversprechen aus der Ideenfindung möglichen Erlösmechanismen und notwendigen Daten zur Abrechnung zugeordnet.

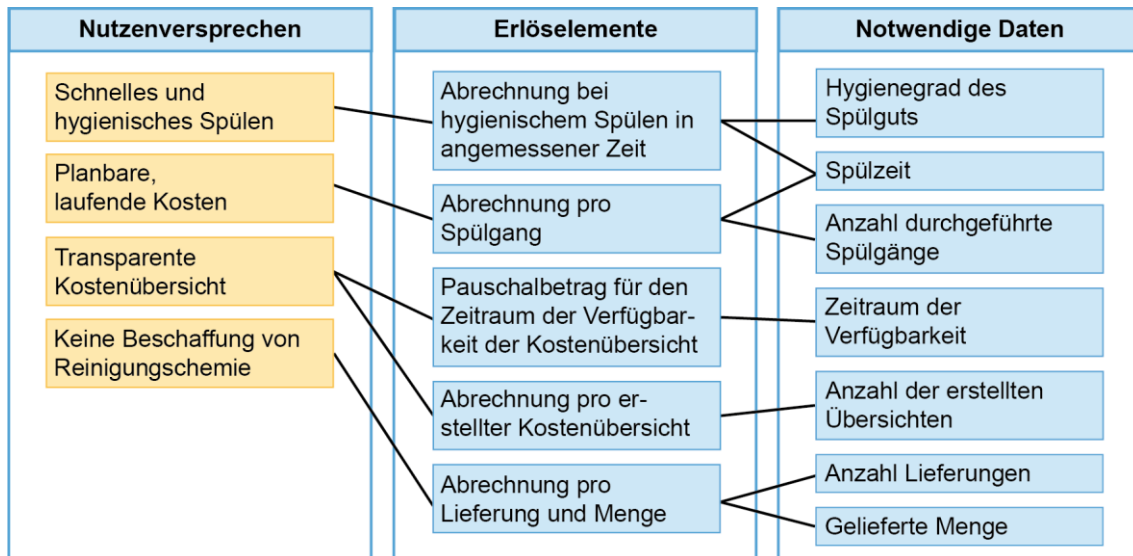


Bild 5-7: Konzipierung des Erlös-konzepts für den Service Abrechnung pro Spülgang

Das vom Unternehmen gewünschte Pay-per-performance Erlös-konzept wurde verworfen, da es einer Abrechnung bei hygienischem Spülen entspricht und eine Messung des Hygienegrad nur mit hohem Aufwand realisierbar ist. Eine Abrechnung pro Spülgang ist hingegen einfacher realisierbar, da Daten bereits mit dem aktuellen Produkt erhoben werden. Eine Abrechnung pro Lieferung und Menge Reinigungschemie wäre ebenfalls realisierbar, soll jedoch in die Abrechnung pro Spülgang eingepreist werden. Das Gleiche gilt für die anderen Nutzenversprechen, wie z.B. die transparente Kostenübersicht.

Gleichung 5-1 zeigt den Erlösmechanismus zur monatlichen Abrechnung pro Spülgang. Um die Fixkosten des Betreibermodells abzusichern, wird eine Mindestabnahmemenge als fixes Erlöselement vorgesehen. Der Kunde zahlt mindestens 50 Spülgänge in einem Abrechnungsintervall. Ab dem 50. Spülgang wird pro Spülgang abgerechnet. Hierbei handelt es sich um eine Mischung aus den Bausteinen Subscription und Pay-per-use.

$$EM = 50 \cdot p + (x - 50) \cdot p \quad \text{für } (x > 50)$$

$$EM = 50 \cdot p \quad \text{für } (x \leq 50)$$

p: Preis pro Spülgang (Parameter)

x: Anzahl Spülgänge (Variable)

Gleichung 5-1: Erlösmechanismus auf Basis einer Abrechnung pro Spülgang

Serviceprozesse

Die Konzipierung des Aspekts Serviceprozess erfolgt auf Basis der fünf Anwendungsszenarien. Insgesamt wurden fünf separate Serviceprozesse spezifiziert, welche aufeinander abgestimmt sind. Bild 5-8 zeigt den Serviceprozess zur automatisierten Nachbestellung von Reinigungschemie.

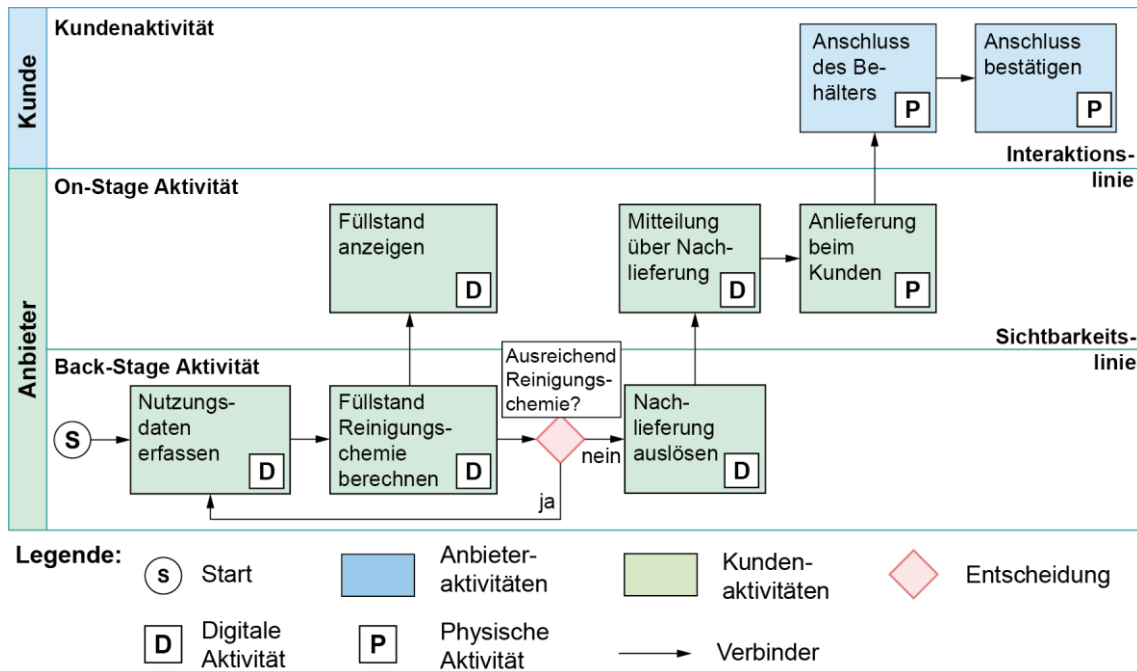


Bild 5-8: Serviceprozess zur automatisierten Nachbestellung von Reinigungschemie

Nahezu alle Anbieteraktivitäten können digital ausgeführt werden, was sich positiv auf die laufenden Kosten und die Profitabilität des Service auswirkt. Der Anschluss und dessen Bestätigung sollen durch den Kunden erfolgen. Dies spart Kosten, da der Kunde nach dem gewählten Erlösmodell nicht pro Lieferung zahlt, sondern die Reinigungschemie im Preis pro Spülgang eingepreist ist.

Wirkstruktur

Bild 5-9 zeigt einen Ausschnitt der Verträglichkeitsmatrix zur Ableitung verträglicher Elemente der Wirkstruktur. Mit den ausgewählten Anwendungsszenarien können synergetische bzw. notwendige Elemente für die Wirkstruktur identifiziert werden.

Verträglichkeitsmatrix (Ausschnitt)			Wirkstruktur												
			Referenzbausteine	Nutzung von Sensordaten	Vernetzung des Systems	Eingabeschnittstelle	Ausgabeschnittstelle	Embedded	Webinterface / Desktop	Mobil	Wearable	Teilsystem	Zeit	Standort	Identität
Fragestellung: Wie verträglich ist Anwendungsszenario i (Zeile) mit Erlösmodell j (Spalte)?			Nr.	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33
Anwendungsszenarien	Assistenz	Anleitung / Self-Service	2	2	2	3	3	3	1	3	3	3	3	3	2
	Überwachung und Steuerung	Monitoring	4	3	3	2	3	2	3	3	3	2	2	3	3
	Optimierung und Problemlösung	Autom. Bestellung	8	3	3	2	2	2	3	3	1	2	2	2	2
	Automatisierung und Betrieb	Lebenszykluskosten	9	3	3	2	2	1	3	2	1	2	2	2	3
		Vorausschau	10	3	2	2	3	2	3	2	1	2	2	2	2

Bild 5-9: Ausschnitt der Verträglichkeitsmatrix zur Spezifikation der Wirkstruktur

Es zeigt sich, dass ein Webinterface die bisher gewählten Bausteine unterstützt und zusätzlich zu den bisherigen Ideen mit aufgenommen werden sollte. Bild 5-10 zeigt eine vereinfachte Wirkstruktur zur Realisierung der geplanten Smart Services.

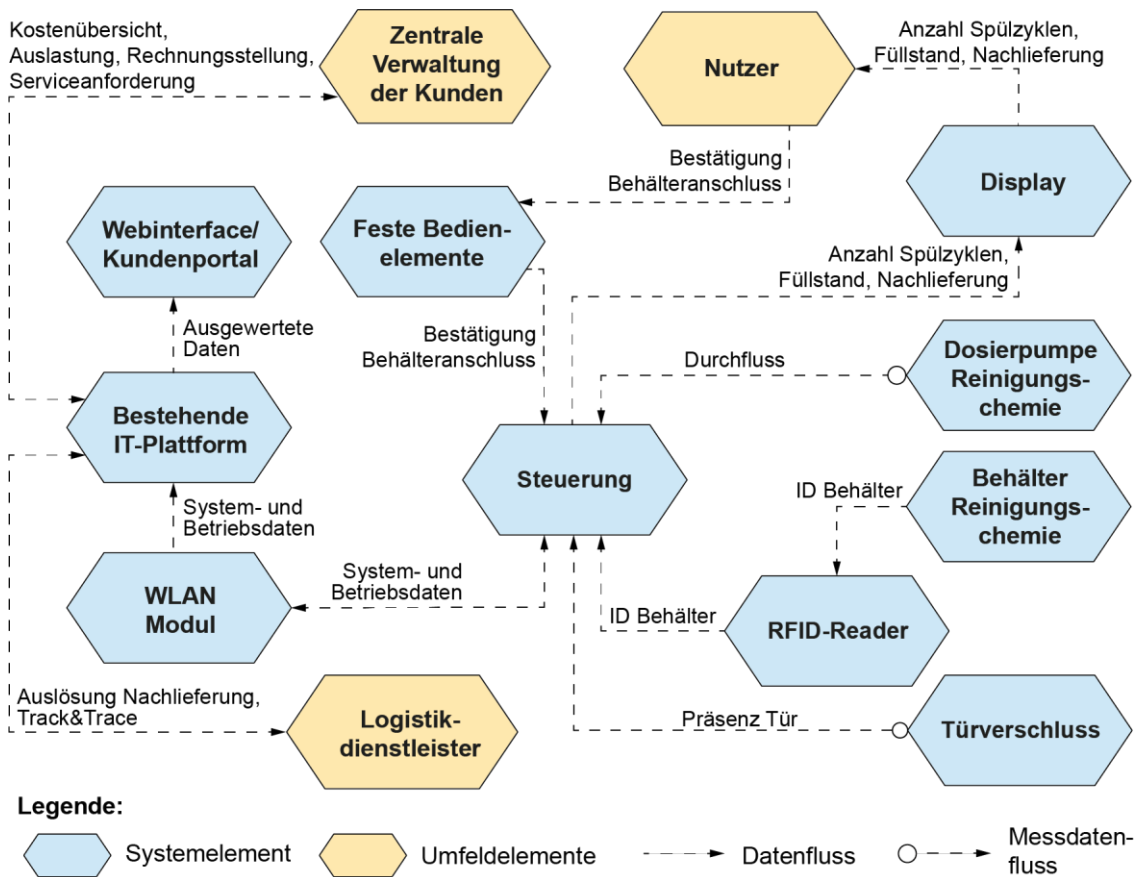


Bild 5-10: Wirkstruktur der Smart Services

Sensorik: Mithilfe von Sensorik sollen der Durchfluss an Reinigungschemie sowie der Status des Türverschlusses gemessen werden, um Spülzyklen und Verbrauch von Reinigungschemie zu messen. RFID dient zur Identifikation von Reinigungschemiebehältern, um den Anschluss der Behälter nachzuvollziehen und Diebstahl vorzubeugen.

Konnektivität: Mithilfe der bestehenden WLAN-Schnittstelle kann eine Verbindung zur zentralen IT-Plattform hergestellt werden, um System- und Betriebsdaten zur Auswertung zu übertragen.

Benutzerschnittstelle: Eine einfache Schnittstelle für den Nutzer am Gerät zeigt z.B. eine anstehende Nachlieferung von Reinigungschemie und die Anzahl der Spülzyklen an. Über ein Webinterface (Kundenportal) bekommt die zentrale Verwaltung der Kindertagesstätten eine Übersicht aller Maschinen mit Auslastung und Kosten in den einzelnen Einrichtungen. Der Serviceanbieter kann über diese Schnittstelle auch die monatliche Rechnung stellen und Serviceanforderungen erhalten.

Datenanalyse

Wesentliches Element der Datenanalyse ist die Anbindung der Systeme an eine zentrale Datenverarbeitung, um alle Anwendungsszenarien umzusetzen. Zur Umsetzung der proaktiven Wartung und Reparatur ist eine prädiktive Datenanalyse notwendig, wohingegen für die anderen Anwendungsszenarien eine deskriptive Datenanalyse ausreichend ist. Bild 5-11 zeigt das Konzept zur Datenanalyse für die proaktive Wartung und Reparatur.

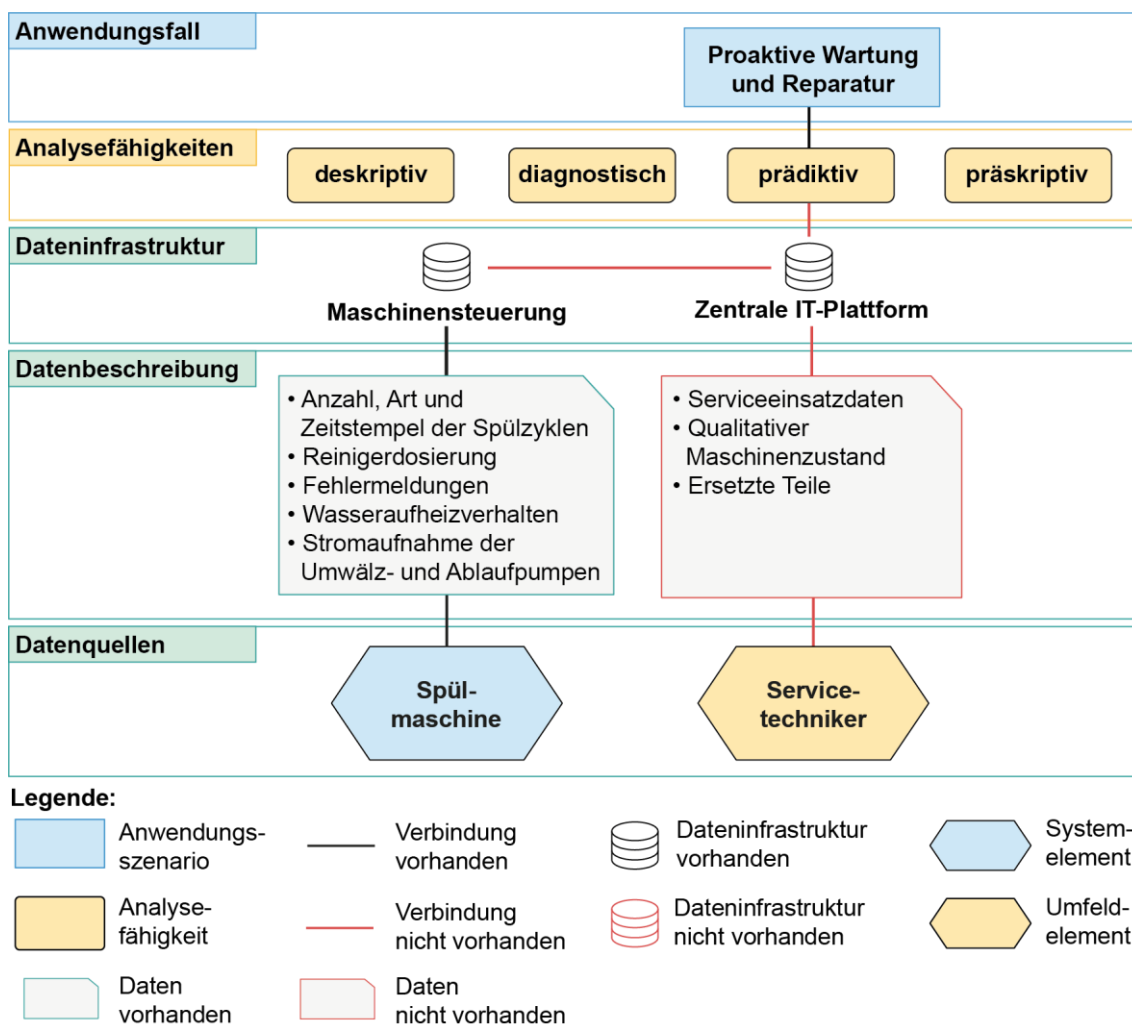


Bild 5-11: Datenanalyse für die proaktive Wartung und Reparatur der Spülmaschine

Daten bezüglich der Spülmaschine sind bereits vorhanden und werden in der Maschinensteuerung gespeichert. Mithilfe der Stromaufnahme und des Aufheizverhaltens können Anomalien der Pumpen und Heizelemente detektiert werden. Darüber hinaus wird eine Schnittstelle zu den Servicetechnikern benötigt, um Daten bezüglich der Serviceeinsätze und ersetzter Verschleiß- und Ersatzteile einzelnen Maschinen zuzuordnen.

Fazit: Das Gesamtkonzept zeigt, dass viele bereits vorhandene Elemente des Systems genutzt werden können. Die geplanten Services können mit wenig Hardwareänderungen implementiert werden und es wird eine deutliche Differenzierung zu Spülmaschinen für den Privatgebrauch erreicht.

5.5 Bewertung anhand der gestellten Anforderungen

Die Bewertung stellt die Systematik zur Konzipierung von Smart Service für mechatronische Systeme den gestellten Anforderungen gegenüber (vgl. Abschnitt 2.7). Es wird für jede Anforderung veranschaulicht, inwieweit sie durch einzelne Bestandteile bzw. das Zusammenwirken der Systematik erfüllt wird. Bild 5-12 zeigt Anforderungen mit Bezug zu den Bestandteilen der Systematik in der Übersicht.

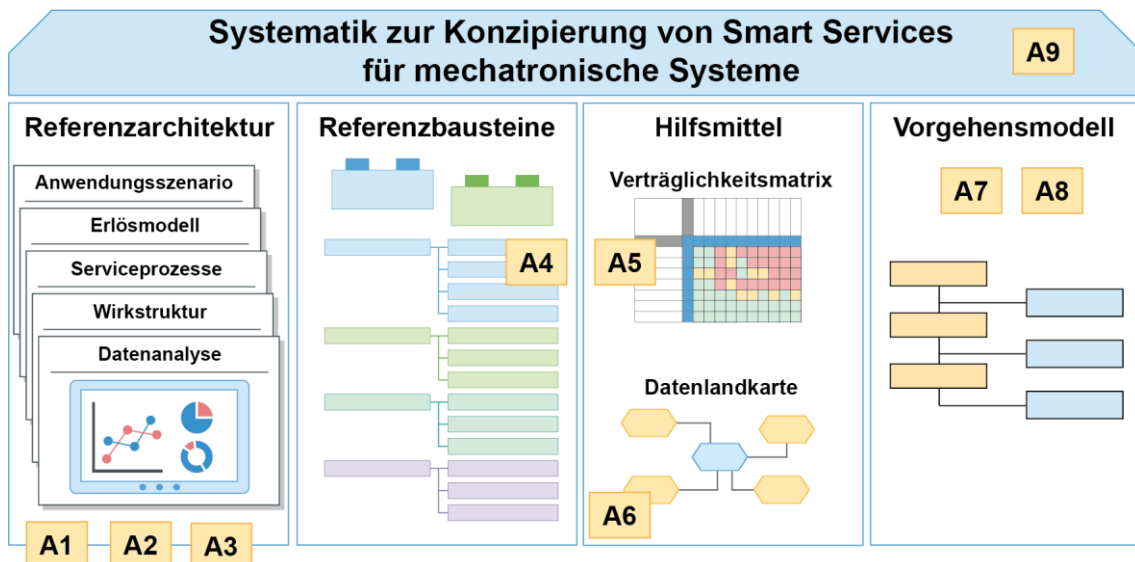


Bild 5-12: Erfüllung der Anforderungen durch die Systematik

A1) Interdisziplinäre Referenzarchitektur: Die vorgestellte Referenzarchitektur beschreibt den Entwicklungsgegenstand mit Aspekten, welche technische und wirtschaftliche Gesichtspunkte abdecken (vgl. Abschnitt 4.2). Das Anwendungsszenario verdeutlicht das Nutzenversprechen als auch die grundsätzliche Serviceerbringung. Das Erlösmodell ermöglicht eine fokussierte Betrachtung eines Bestandteils des Geschäftsmodells, um die Geschäftsplanung und technische Konzipierung zu verknüpfen. Wirkstruktur, Serviceprozess und Datenanalyse bilden technische Gesichtspunkte ab. Die aspektübergreifenden Verknüpfungen ermöglichen ein konsistentes, disziplinübergreifendes Konzept. Die Granularität der Aspekte ermöglicht die Beschreibung von Prinziplösungen.

A2) Modellbasierte Systembeschreibung: Für alle Aspekte wurden modellbasierte Darstellungstechniken ausgewählt und entwickelt, welche sich zur ersten Ideenfindung als auch zur Konzeptbeschreibung eignen (Abschnitt 4.2). Die Darstellungstechniken ermöglichen eine Systembeschreibung als Basis für Kommunikation, Koordination, Dokumentation und Entscheidungsunterstützung. Es wurde besonderen Wert auf die Anschaulichkeit gelegt, indem überflüssige Darstellungen konsequent vernachlässigt wurden, wie z.B. reduzierte Elemente zur Prozess- und Strukturbeschreibung. Die Aspekte sind visuell einfach erfassbar dargestellt.

A3) Datenorientierte Architektursicht: Durch den Aspekt Datenanalyse erfolgt die Beschreibung, wie aus Daten durch Schnittstellen, Infrastruktur und Analysefähigkeiten Informationen werden (Abschnitt 4.2.5). Der Aspekt kann zur Auswahl spezifischer Analyseverfahren genutzt werden und gleichzeitig die Logik hinter der Datenanalyse disziplinübergreifend, verständlich beschreiben. In der Wirkstruktur werden nur Datenflüsse berücksichtigt, wodurch ebenfalls eine datenorientierte Sicht realisiert wird. Die Idee wird in der Datenlandkarte weitergeführt, welche eine Systemanalyse mit dem Ziel nutzbarer Daten und Schnittstellen realisiert.

A4) Technische und wirtschaftliches Lösungswissen: Das Lösungswissen deckt mit den vier Bereichen Anwendungsszenarien, Erlösconzepte, Wirkstrukturelemente und Datenanalyse die geforderten Bereiche ab (Abschnitt 4.3). Die Granularität des Lösungswissens ermöglicht eine Orientierung und Inspiration, indem beispielsweise im Bereich Sensorik messbare System- und Umfelddaten statt konkreter Sensortechnologien vorgeschlagen werden. Gleichzeitig zeigt die kompakte Sammlung des Lösungswissens den wesentlichen Lösungsraum, wenngleich kein Anspruch auf Vollständigkeit gegeben ist.

A5) Darstellung und Strukturierung von Lösungswissen: Das Lösungswissen wird in morphologischen Zeilen strukturiert (Abschnitt 4.3). Es handelt sich um eine etablierte Darstellungsform der klassischen Konstruktionsmethodik, welche aber auch für Datenanalysefähigkeiten oder Erlösconzepte genutzt werden kann. Die Steckbriefe bzw. Baustein-Karten ermöglichen durch die kompakte Darstellung eine Nutzung des Lösungswissens in Workshops. Die Verträglichkeitsmatrix ist eine weitere Darstellungsform des Lösungswissens, welche eine strukturierte Sicht abbildet und die Eingrenzung des Lösungsraums ermöglicht. Die Verträglichkeitsbewertungen gelten nicht pauschal, zeigen dem Systemarchitekten aber Erfolg versprechende und ungünstige Kombination, um die Konzipierung effektiver und effizienter zu gestalten (vgl. Abschnitt 4.4.1).

A6) Identifikation von Daten: Die Datenlandkarte ermöglicht eine systematische Strukturierung des Systemumfelds und damit die Identifikation nutzbarer Daten und Schnittstellen des Systems (vgl. Abschnitt 4.4.2). Zukünftige Wertschöpfungssysteme in Form von digitalen Plattformen ermöglichen eine immer nahtlosere Kombination unterschiedlicher Leistungen und Daten, wodurch der Blick auf das Systemumfeld immer wichtiger wird. Gleichzeitig ist die Darstellung der Datenanalyse dazu geeignet, eine Datenanalyse mithilfe bestehender Daten und Potentiale zu realisieren. Das Vorgehensmodell berücksichtigt die Identifikation von Daten als explizite Tätigkeit (vgl. Abschnitt 4.5).

A7) Potentiale des bestehenden Systems: Die Potentiale des bestehenden Systems werden durch die Systematik in den Aspekten der Referenzarchitektur als auch dem Vorgehensmodell durchgehend berücksichtigt. Die Aspekte Wirkstruktur und Serviceprozess können zur Analyse des Systems sowie der Kundenprozesse um das System genutzt werden (vgl. Abschnitte 4.2.3 und 4.2.4). Das Vorgehen zur Konzipierung sieht in der ersten Phase eine Analyse der Kundenaufgaben und -probleme vor, um die Ausgangssituation der Kunden in Zusammenhang mit dem System zu analysieren (vgl. Abschnitt 4.5.1). Die

Nutzung der Verträglichkeitsmatrix erfolgt auf Basis der vorhandenen Referenzbausteine des bestehenden Systems und nutzt vorhandene technische Potentiale (vgl. Abschnitt 4.4.1).

A8) Systematisches Vorgehen: Im Vorgehensmodell werden notwendige Tätigkeiten unter Nutzung der Bestandteile der Systematik stringent geordnet. Der Anwender wird nachvollziehbar und systematisch zum Ziel geführt (vgl. Abschnitt 4.5). Darüber hinaus sind die Aspekte und Beschreibungsmittel auf eine systematische Vorgehensweise ausgelegt, wie z.B. die Herleitung von Erlöselementen (vgl. Abschnitt 4.2).

A9) Anwendungsfokus mechatronische Systeme: Die Systematik baut auf Ansätzen auf, welche den klaren Anwendungsfokus mechatronischer Systeme haben, wie die Spezifikationstechnik CONSENS und das Schichtenmodell zur Datenanalyse. Die Referenzarchitektur orientiert sich an den allgemeinen Aspekten zur Beschreibung mechatronischer Systeme (Wirkstruktur, Verhalten) und führt zu entsprechenden Darstellungstechniken. Das Lösungswissen spiegelt die Grundstruktur eines mechatronischen Systems wider mit Elementen wie z.B. Sensorik und Benutzerschnittstelle.

Die entwickelte Systematik zur *Konzipierung von Smart Services für mechatronische Systeme* erfüllt damit die gestellten Anforderungen in vollem Umfang. Anhand des Anwendungsbeispiels wurde die erfolgreiche Anwendung der Systematik nachgewiesen.

6 Zusammenfassung und Ausblick

Viele Unternehmen des produzierenden Gewerbes stehen derzeit vor der Herausforderung sich wandelnder Marktleistungen und entwickeln sich von einem Produzenten zum produzierenden Dienstleister. Der Trend ist nicht neu, aber vor dem Hintergrund der Digitalisierung und Vernetzung von technischen Systemen hochaktuell. Produkte von Wettbewerbern gleichen sich technisch immer weiter an, Kunden orientieren sich zunehmend am Preis und Margen sinken. Eine Möglichkeit zur Differenzierung sind produktbegleitende Dienstleistungen und deren Bündelung mit dem Produkt zu Gesamtlösungen. Smart Services sind Produkt-Service Systeme als Kombination von einem physischen Produkt und digitalen Dienstleistungen, welche die Daten des Produkts nutzen und sich dadurch intelligent verhalten. Ein wiederkehrendes Beispiel ist eine bedarfsgerechte, vorausschauende Wartung, welche durch das System selbst bestellt wird.

Unternehmen stehen vor der Frage, wie sie ihr bestehendes Produkt mit Smart Services kombinieren und neue Marktleistungen konzipieren können. In **Kapitel 2** wird hierzu die Weiterentwicklung technischer Systeme und die Evolution von Marktleistungen im produzierenden Gewerbe betrachtet. Technologiekonzepte wie das Internet der Dinge zeigen die Möglichkeiten des Fortschritts, welcher durch einen Preisverfall bei elektrischen Komponenten auch für günstige Produkte relevant wird. Geschäftsmodelle aus der digitalen Welt finden Anwendung bei physischen Produkten, wie z.B. Pay-per-use statt klassischer Serviceverträge. Das Konzept Smart Services verbindet beide Sichtweisen: Über verschiedene Arten von digitalen Plattformen sollen Produkte vernetzt und digitale Dienstleistungen bereitgestellt werden. Diesen Möglichkeiten stehen fehlende, konkrete Anknüpfungspunkte gegenüber, die es Unternehmen ermöglichen mit der Veränderung der eigenen Marktleistung zu beginnen. Es ergeben sich folgende Herausforderungen:

- Es fehlt eine Referenzarchitektur für Smart Services, um den Begriff als Entwicklungsgegenstand deutlich und greifbar zu machen.
- Die Konzipierung der Marktleistung zwischen Produkt- und Servicekomponenten muss einer produktzentrierten Entwicklung von Unternehmen folgen, welche zunehmend auf den Ansatz des modellbasierten Systems Engineering setzt.
- Die Produkte der Unternehmen besitzen in der Regel bereits Funktionen zur Realisierung von Smart Services, welche berücksichtigt werden müssen.
- Vielfältigen Lösungen aus der Praxis fehlt es an Struktur, um Unternehmen eine einfache Wiederverwendung zu ermöglichen.

Um diesen Herausforderungen zu begegnen, muss die Konzipierung von Smart Services methodisch unterstützt werden. Es bedarf einer klaren und einfach erfassbaren Referenzarchitektur als Zentrum der Konzipierung. Die Architektur muss mit modellbasierten Darstellungstechniken beschrieben werden, um Konzepte einfach erfassbar zu machen

und eine disziplinübergreifende Zusammenarbeit zu ermöglichen. Bestehende Lösungen aus Forschung und Praxis sind durch ein Baukastenprinzip zu strukturieren, um sie zu individuellen, passgenauen Konzepten zusammenzusetzen. Zudem bedarf es eines systematischen und reproduzierbaren Vorgehens von der Idee zu einem Erfolg versprechenden Konzept sowie unterstützende, methodische Hilfsmittel.

Vor diesem Hintergrund wurden in **Kapitel 3** existierende Referenzarchitekturen für Technologiekonzepte, Lösungswissen für Smart Services sowie Ansätze zur Darstellung und Strukturierung von Lösungswissen untersucht. Ergänzend wurden Ansätze zur Konzipierung von Produkt-Service Systemen und zur modellbasierten Darstellung von Marktleistungen betrachtet. Die Analyse des Stands der Technik zeigt, dass Ansätze partiell eine Konzipierung von Smart Services unterstützen und mit Anpassungen übernommen werden können. Es existiert jedoch keine durchgängige Systematik oder eine triviale Kombination von Ansätzen, die alle Anforderungen vollumfänglich erfüllen.

Die Ansätze von PORTER/HEPELMANN und FLEISCH et al. beschreiben mit zwei Architekturen das Potential der Vernetzung von technischen Systemen und einer zentralen Datenverarbeitung, wodurch die Grundidee von Smart Services klar skizziert und für die vorliegende Arbeit übernommen wird. KÜHN et al. zeigen ein Schichtenmodell, welches sich zur Beschreibung der Datenanalyse eignet und mit Anpassungen die Anforderung einer datenorientierten Sicht auf das System erfüllt. Für konkretes Lösungswissen kann auf ausreichend Quellen zurückgegriffen werden, welche miteinander kombiniert werden können. Übergreifende Anwendungsszenarien für Smart Services mussten jedoch durch eigene Studien ergänzt werden. Zur Strukturierung von Lösungswissen eignet sich der Ansatz nach KÖCKERLING, welcher die Elemente eines morphologischen Kastens auf ihre Verträglichkeit hin bewertet. Unter den Ansätzen zur Konzipierung von Produkt-Service Systemen zeigt STOLL die Anwendung einer Verträglichkeitsanalyse von Potentialen, welche in ähnlicher Weise für Smart Services genutzt werden kann. Von den Ansätzen zur modellbasierten Darstellung von Marktleistungen haben sich zwei unter den gegebenen Umständen am besten geeignete Ansätze herauskristallisiert: Die Diagramme der Spezifikationstechnik CONSENS und des Service Blueprinting-Ansatzes können Smart Services darstellen und werden durch weitere Diagramme ergänzt.

In **Kapitel 4** wird die Systematik zur Konzipierung von Smart Services für mechatronische Systeme vorgestellt. Es werden bestehende Ansätze und Überlegungen aufgegriffen, modifiziert und mit neu entwickelten Ansätzen und Hilfsmitteln kombiniert. Die Systematik umfasst die folgenden Bestandteile:

- Eine Referenzarchitektur bestehend aus fünf Aspekten beschreibt den Begriff und Entwicklungsgegenstand aus unterschiedlichen Perspektiven. Für jedes der Aspekte wird eine Darstellungstechnik vorgeschlagen, welche eine visuell einfach erfassbare Beschreibung ermöglicht. Aspektübergreifende Verknüpfungen ermöglichen eine ganzheitliche und disziplinübergreifende Konzeptbeschreibung.

- Eine Sammlung von Referenzbausteinen kondensiert und strukturiert bestehende Lösungen und stellt sie in geeigneter Weise dar. Die Bausteine ermöglichen Inspiration und Orientierung in der Ideenfindung, können einfach miteinander kombiniert und individuell ausgeprägt werden.
- Zwei Hilfsmittel unterstützen die Nutzung der Referenzarchitektur und der Referenzbausteine. Eine Verträglichkeitsmatrix zeigt Bündel von Bausteinen, welche sich gegenseitig ergänzen, und kann zur Systemanalyse als auch -synthese genutzt werden. Eine Datenlandkarte ermöglicht eine Strukturierung des Systemumfelds, um Daten und Schnittstellen zu identifizieren, welche für Smart Services relevant sind.
- Ein Vorgehensmodell bündelt die Bestandteile der Systematik und zeigt einen nachvollziehbaren Weg von einem mechatronischen System über eine erste Idee hin zu einem Smart Service-Konzept. Aufeinanderfolgende Tätigkeiten beschreiben das Arbeiten mit der Referenzarchitektur und den Hilfsmitteln zur Ideenfindung, Systemanalyse und -synthese.

Die Anwendung der Systematik wird in **Kapitel 5** gezeigt und erfolgte anhand des Beispiels einer gewerblichen Spülmaschine. Hierzu wurde das Vorgehensmodell der Systematik vollständig durchlaufen und die entwickelten Hilfsmittel angewendet. Das Unternehmen testet die entwickelten Konzepte mit ersten Pilotkunden. Die Validierung zeigt, dass die entwickelte Systematik die gestellten Anforderungen im vollen Umfang erfüllt.

Dennoch ergibt sich **kurz-, mittel-, und langfristiger Forschungsbedarf** im Themenfeld. Kurzfristig ist eine sukzessive Erweiterung der Referenzbausteine sinnvoll. Durch eine rechnerinterne Abbildung könnte das Lösungswissen kontinuierlich erweitert und Ergänzungen von spezifischen Anwendungsfeldern (z.B. Produktion, Mobilität, Medizin) oder Technologien (z.B. Augmented Reality) vorgenommen werden. Des Weiteren könnte durch eine rechnerinterne Abbildung der Referenzarchitektur eine detailliertere Spezifikation erfolgen, welche in der Detailentwicklung notwendig wird. Hierzu müssen die Aspekte der Architektur sowie die Beschreibungstechniken in einem Softwarewerkzeug zur Systemmodellierung abgebildet werden, wie z.B. iQuavis [Two18].

Mittelfristig ist eine weitere Integration der Entwicklung von Marktleistung und zugehörigem Wertschöpfungssystem vor dem Hintergrund digitaler Plattformen sinnvoll. Ein Beitrag hierzu kann das Forschungsvorhaben IMPRESS¹⁰ leisten, mit dem Ziel eines Instrumentariums zur musterbasierten Planung hybrider Wertschöpfung zur Erbringung von Smart Services. Auswirkungen von Smart Services auf Wertschöpfungssysteme wurden bereits in einer ersten Arbeit untersucht, welche den Bedarf zeigt [MSG+17]. Weiterer Forschungsbedarf ergibt sich aus der notwendigen Skalierung von Smart Services, welche für Unternehmen bisher nicht zentrale Marktleistungen bilden, aber zunehmend

¹⁰ Gefördert durch das BMBF (Bundesministerium für Bildung und Forschung) in der Bekanntmachung „Zukunft der Arbeit – Arbeit in hybriden Wertschöpfungssystemen“, Projektstart: 01/2019

relevanter werden. Zum einen ist eine dedizierte Strategie zur Planung der Skalierung notwendig, welche einen Rahmen um unterschiedliche Smart Services, Produkte und Geschäftsmodelle legt. Zum anderen werden Kompetenzen in Unternehmen notwendig, die bis dato nicht vorhanden sind, wie z.B. in den Bereichen Data Analytics und digitale Geschäftsmodelle. Identifikation notwendiger Kompetenzen, individueller Kompetenzaufbau und organisationale Umsetzung erfordern ebenfalls eine systematische Planung.

Langfristig müssen die Forschungsaktivitäten in den Bereichen der strategischen Planung und Entwicklung technischer Systeme integriert werden, um neuen Marktleistungskonzepten Rechnung zu tragen. Geschäftsmodelle sollten vielmehr als ein Artefakt aufgefasst werden, welches durch Anwendung von Methoden und Hilfsmitteln der Konstruktionslehre und des Systems Engineering systematisch entwickelt werden; Geschäftsmodellmuster sind ein erfolgreiches Beispiel. Auf der anderen Seite müssen Forschungsaktivitäten im Bereich des modellbasierten Systems Engineering Denkweisen und Methoden der strategischen Planung aufgreifen, wie z.B. durch modellbasierte Abbildung eines Geschäftsmodellrahmens und dessen Verknüpfung mit Tracelinks zu Elementen des technischen Systems.

Das Fraunhofer-Institut für Entwurfstechnik Mechatronik IEM und das Heinz Nixdorf Institut greifen einige der Themen bereits heute auf und richten ihre Forschungsaktivitäten entsprechend aus. Gemeinsame, übergeordnete Leitidee ist eine neue Schule des Entwurfs technischer Systeme von morgen, welche als Advanced Systems Engineering bezeichnet wird. Die vorliegende Arbeit liefert einen Baustein hierzu.

7 Abkürzungsverzeichnis

BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung
BMWi	Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
CONSENS	Conceptual design Specification technique for the Engineering of complex Systems
CPS	Cyber-Physical System
DMM	Domain-Mapping Matrix
DSM	Domain-Structure Matrix
IoT	Internet of Things
IT	Informationstechnik
ITS	Intelligente Technische Systeme
it's OWL	Intelligente Technische Systeme OstWestfalenLippe
M2M	Machine to Machine
MBSE	Model-based Systems Engineering
MDM	Multiple-Domain Matrix
MID	Molded Interconnect Devices
OMEGA	Objektorientierte Methode zur Geschäftsprozessmodellierung und -analyse
RFID	Radio-Frequency Identification
SE	Systems Engineering
SysML	Systems Modeling Language
VDI	Verein Deutscher Ingenieure

8 Literaturverzeichnis

- [AAA+15] ADRODEGARI, F.; ALGHISI, A.; ARDOLINO, M.; SACCANI, N.: From Ownership to Service-oriented Business Models - A Survey in Capital Goods Companies and a PSS Typology. In: Boucher, X.; Brissaud, D. (Hrsg.): Proceedings of 7th CIRP Conference on Industrial Product-Service Systems, 21-22 May 2015, Saint-Etienne, 2015
- [Aca17] ACATECH – DEUTSCHE AKADEMIE DER TECHNIKWISSENSCHAFTEN: Wegweiser Smart Service Welt - Smart Services im digitalen Wertschöpfungsnetz. Berlin, 2017
- [AF15] ANDERL, R.; FLEISCHER, J.: Leitfaden Industrie 4.0 - Orientierungshilfe zur Einführung in den Mittelstand. VDMA Verlag, Frankfurt am Main, 2015
- [AGS18] ABRAMOVICI, M.; GEBUS, P.; SAVARINO, P.: Engineering smarter Produkte und Services - Plattform Industrie 4.0 Studie. München, 2018
- [AKH+16] AURICH, J. C.; KÖLSCH, P.; HERDER, C. F.; MERT, G.: PSS 4.0 – Einflüsse von Industrie 4.0 auf Produkt-Service Systeme. ZWF Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, Vol. 111, Iss. 9, 2016
- [AL05] ALLMENDINGER, G.; LOMBREGLIA, R.: Four Strategies for the Age of Smart Services. Harvard Business Review, Vol. 83, Iss. 10, 2005
- [All15-ol] ALLMENDINGER, GLEN: The Internet of Things and Smart Systems Stack. Unter: <https://www.linkedin.com/pulse/internet-things-smart-systems-stack-glen-allmendinger/>, Letzter Zugriff 14. Oktober 2018
- [Alt12] ALT, O.: Modellbasierte Systementwicklung mit SysML. Hanser Verlag, München, 2012
- [Ams16] AMSHOFF, B.: Systematik zur musterbasierten Entwicklung technologie-induzierter Geschäftsmodelle. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftreihe, Band 357, Paderborn, 2016
- [ANW15] ALBERS, A.; NIKOLA, B.; WINTERGERST, E.: Produktgenerationsentwicklung - Bedeutung und Herausforderungen aus einer entwicklungsmethodischen Perspektive. In: Binz, H. (Hrsg.): Stuttgarter Symposium für Produktentwicklung (SSP), 19. Juni 2015, Fraunhofer Verlag, Stuttgart, 2015
- [APC16] VAN ALSTYNE, M. W.; PARKER, G. G.; CHOUDARY, S. P.: Plattform statt Pipeline. Harvard Business Manager, Vol. 38, Iss. 6, 2016
- [Arn15] ARNOLD, C.: Serviceparadigmen und Implikationen für die Vermarktung - Eine Einführung. Springer Gabler Verlag, Wiesbaden, 2015
- [BBK98] BROY, M.; BEECK, M.; KRÜGER, I.: SOFTBED - Problemanalyse für ein Großverbundprojekt „Systemtechnik Automobil - Software für eingebettete Systeme“, München, 1998
- [BBR10] BONNEMEIER, S.; BURIANEK, F.; REICHWALD, R.: Revenue models for integrated customer solutions - Concept and organizational implementation. Journal of Revenue and Pricing Management, Vol. 9, Iss. 3, 2010
- [BE16] BROWNING, T. R.; EPPINGER, S.: Design Structure Matrix Methods and Applications. MIT Press, Cambridge, 2016
- [BGN17] BULLINGER, H.-J.; GANZ, W.; NEUHÜTTLER, J.: Smart Services – Chancen und Herausforderungen digitalisierter Dienstleistungssysteme für Unternehmen. In: Bruhn, M.; Hadwich, K. (Hrsg.): Dienstleistungen 4.0 - Konzepte, Methoden, Instrumente. Springer Gabler Verlag, Wiesbaden, 2017

- [BH15] BAUER, W.; HORVÁTH, P.: Industrie 4.0 - Volkswirtschaftliches Potenzial für Deutschland. Controlling, Vol. 27, Iss. 8-9, 2015
- [BH17] BRUHN, M.; HADWICH, K.: Dienstleistungen 4.0 - Erscheinungsformen, Transformationsprozesse und Managementimplikationen. In: Bruhn, M.; Hadwich, K. (Hrsg.): Dienstleistungen 4.0 - Konzepte, Methoden, Instrumente. Springer Gabler Verlag, Wiesbaden, 2017
- [BIT14] BITKOM: Big-Data-Technologien - Wissen für Entscheider, Berlin, 2014
- [Bit92] BITNER, M. J.: Servicescapes - The Impact of Physical Surroundings on Customers and Employees. Journal of Marketing, Vol. 56, Iss. 2, 1992
- [BKP08] BECKER, J.; KNACKSTEDT, R.; PFEIFFER, D.: Wertschöpfungsnetzwerke - Konzepte für das Netzwerkmanagement und Potenziale aktueller Informationstechnologien. Physica-Verlag, Heidelberg, 2008
- [BKR+16] BAUERNHANSL, T.; KRÜGER, J.; REINHART, G.; SCHUH, G.: WGP-Standpunkt Industrie 4.0, Darmstadt, 2016
- [BLB+09] BAINES, T. S.; LIGHTFOOT, H. W.; BENEDETTINI, O.; KAY, J. M.: The servitization of manufacturing. Journal of Manufacturing Technology Management, Vol. 20, Iss. 5, 2009
- [BLE+07] BAINES, T. S.; LIGHTFOOT, H. W.; EVANS, S.; NEELY, A.; GREENOUGH, R.; PEPPARD, J.; ROY, R.; SHEHAB, E.; BRAGANZA, A.; TIWARI, A.; ALCOCK, J. R.; ANGUS, J. P.; BASTL, M.; COUSENS, A.; IRVING, P.; JOHNSON, M.; KINGSTON, J.; LOCKETT, H.; MARTINEZ, V.; MICHELE, P.; TRANFIELD, D.; WALTON, I. M.; WILSON, H.: State-of-the-art in product-service systems. Journal of Engineering Manufacture, Vol. 221, Iss. 10, 2007
- [BLM14] BÖHMANN, T.; LEIMEISTER, J. M.; MÖSLEIN, K.: Service Systems Engineering. Business & Information Systems Engineering, Vol. 6, Iss. 2, 2014
- [BMH+17] BAUER, D.; MAURER, T.; HENKEL, C.; BILDSTEIN, A.: Big-Data-Analytik - Datenbasierte Optimierung Produzierender Unternehmen. Zenodo Verlag, Stuttgart, 2017
- [BMM+17] BEVERUNGEN, D.; MÜLLER, O.; MATZNER, M.; MENDLING, J.; VOM BROCKE, J.: Conceptualizing smart service systems. Electronic Markets, Vol. 83, Iss. 10, 2017
- [BMN15] BULLINGER, H.-J.; MEIREN, T.; NÄGELE, R.: Smart Services in Manufacturing Companies. In: ICPR (Hrsg.): Proceedings of the 23rd International Conference on Production Research, 2.-5. August, Manila, 2015
- [BMWi18-ol] BUNDESMINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT UND ENERGIE: Smart Service Welt. Unter: <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Artikel/Digitale-Welt/smart-service-welt.html>, Letzter Zugriff 04. November 2018
- [BOM07] BITNER, M. J.; OSTROM, A. L.; MORGAN, F. N.: Service Blueprinting - A Practical Technique for Service Innovation. California management review, Vol. 50, Iss. 3, 2007
- [BPM04] BIEHL, M.; PRATER, E.; MCINTYRE, J. R.: Remote repair, diagnostics, and maintenance. Communications of the ACM, Vol. 47, Iss. 11, 2004
- [Bro01] BROWNING, T. R.: Applying the Design Structure Matrix to System Decomposition and Integration Problems - A Review and New Directions. IEEE Transactions on Engineering Management, Vol. 48, Iss. 3, 2001
- [Bro10] BROY, M.: Cyber-Physical Systems - Innovation durch software-intensive eingebettete Systeme. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, 2010
- [BS06] BULLINGER, H.-J.; SCHREINER, P.: Service Engineering - Ein Rahmenkonzept für die systematische Entwicklung von Dienstleistungen. In: Bullinger, H.-J.; Scheer, A.-W.; Schneider, K. (Hrsg.): Service Engineering - Entwicklung und Gestaltung innovativer Dienstleistungen. Springer Verlag, Berlin, 2006

- [BS06] BULLINGER, H.-J.; SCHEER, A.-W.: Service Engineering - Entwicklung und Gestaltung innovativer Dienstleistungen. In: Bullinger, H.-J.; Scheer, A.-W.; Schneider, K. (Hrsg.): Service Engineering - Entwicklung und Gestaltung innovativer Dienstleistungen. Springer Verlag, Berlin, 2006
- [BS15] BAUMS, A.; SCHÖSSELER, M.: Kompendium Industrie 4.0 - Wie digitale Plattformen die Wirtschaft verändern – und wie die Politik gestalten kann. Berlin, 2015
- [BT13] BOEHM, M.; THOMAS, O.: Looking beyond the rim of one's teacup - a multidisciplinary literature review of Product-Service Systems in Information Systems, Business Management, and Engineering & Design. Journal of Cleaner Production, Vol. 51, 2013
- [Bul07] BULLINGER, H.-J.: Vorwort. In: Bullinger, H.-J.; Hompel, M. t. (Hrsg.): Internet der Dinge. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, 2007
- [Bul15-ol] BULLINGER, H.-J.: Wem gehört künftig der Kunde? - Industrie 4.0? Service 4.0. Unter: <http://www.manager-magazin.de/digitales/it/industrie-4-0-wem-gehört-künftig-der-kunde-a-1045769.html>, Letzter Zugriff 30. August 2018
- [Bun17] BUNDESMINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT UND ENERGIE: Weissbuch Digitale Plattformen - Digitale Ordnungspolitik für Wachstum, Innovation, Wettbewerb und Teilhabe, Berlin, 2017
- [CCH05] CHRISTENSEN, C. M.; COOK, S.; HALL, T.: Marketing Malpractice - The Cause and the Cure. Harvard Business Review, Vol. 83, Iss. 12, 2005
- [Czi08] CZICHOS, H.: Mechatronik - Grundlagen und Anwendungen technischer Systeme. Vieweg+Teubner Verlag, 2. Auflage, Wiesbaden, 2008
- [DF15] DR. WIESELHUBER & PARTNER GMBH; FRAUNHOFER IPA: Geschäftsmodell-Innovation durch Industrie 4.0 - Chancen und Risiken für den Maschinen- und Anlagenbau. München, 2015
- [DFG17] DREWEL, M.; FRANK, M.; GAUSEMEIER, J.: Optionen des Maschinenbaus in der Plattformökonomie von morgen. In: Gausemeier, J. (Hrsg.): Vorausschau und Technologieplanung, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 198, Paderborn, 2017
- [DGK+17] DREWEL, M.; GAUSEMEIER, J.; KLUGE, A.; PIERENKEMPER, C.: Erfolgsgarant digitale Plattform - Vorreiter Landwirtschaft. In: Bodden, E.; Dressler, F.; Dumitrescu, R.; Gausemeier, J.; Meyer auf der Heide, Friedhelm; Scheytt, C.; Trächtler, A. (Hrsg.): Wissenschaftsforum Intelligente Technische Systeme (WInTeSys) 2017. HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 369, Paderborn, 2017
- [DGK+18] DREWEL, M.; GAUSEMEIER, J.; KOLDEWEY, C.; OEZCAN, L. T.: Pattern based development of digital platforms. In: International Society for Professional Innovation Management (ISPIM) (Hrsg.): Proceedings of the ISPIM Connects Conference 2018, 2-5 December 2018, Fukuoka, 2018
- [DTB17] DUMITRESCU, R.; TSCHIRNER, C.; BANSMANN, M.: Systems Engineering als Grundlage der Gestaltung digitaler Arbeitswelten in der Produktentstehung. In: Maier, G. W.; Engels, G.; Steffen, E. (Hrsg.): Handbuch Gestaltung digitaler und vernetzter Arbeitswelten. Springer Verlag, Berlin, 2017
- [Dum11] DUMITRESCU, R.: Entwicklungssystematik zur Integration kognitiver Funktionen in fortgeschrittene mechatronische Systeme. Dissertation, Fakultät Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 286, Paderborn, 2011
- [EDG17] ECHTERFELD, J.; DÜLME, C.; GAUSEMEIER, J.: Gestaltung von Produktstrategien im Zeitalter der Digitalisierung. In: Bodden, E.; Dressler, F.; Dumitrescu, R.; Gausemeier, J.; Meyer auf der Heide, Friedhelm; Scheytt, C.; Trächtler, A. (Hrsg.): Wissenschaftsforum Intelligente Technische Systeme (WInTeSys) 2017. HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 369, Paderborn, 2017

- [EEG+18] ENGELHARDT, S. von; ENSTHALER, H.; GIESCHEN, J.-H.; HAASE, M. S.; LIEBCHENM TILMAN; MANGELSDORF, A.; PETZOLT, S.; RIFAI, H.; SCHWEITZER, H.; SEIDEL, U.; SEIFERT, I.; WEILER, P.; WISCHMANN, S.: Smart Service Welt - Innovationsbericht 2018. Berlin, 2018
- [EG17] ECHTERFELD, J.; GAUSEMEIER, J.: Digitizing Product Portfolios. In: Huizingh, E.; Kokshagina, O.; Bitran, I. (Hrsg.): Proceedings of ISPIM Innovation Summit 2017, 10-13 December 2017, Melbourne, 2017
- [EHR+17] ECHTERHOFF, B.; HAGELSKAMP, T.; RABE, M.; GAUSEMEIER, J.: Developing functionally validated business concepts. In: International Society for Professional Innovation Management (ISPIM) (Hrsg.): Proceedings of the ISPIM Innovation Conference 2017, 18.-21. Juni 2017, Wien, ISPIM Innovation Forum, 2017
- [Ehr09] EHRENSPIEL, K.: Integrierte Produktentwicklung. Carl Hanser Verlag, München, 2009
- [EKL+17] ENGELHARDT, S. von; KUDERNATSCH, W.; LIEBCHEN, T.; RIFAI, H.; SEIDEL, U.; SEIFERT, I.; WEILER, P.; WISCHMANN, S.: Smart Service Welt - Innovationsbericht 2017. Berlin, 2017
- [EKR+17] ECHTERHOFF, B.; KELLERMEIER, E.; RABE, M.; DUMITRESCU, R.: Integrative Entwicklung und Erprobung von Geschäftsmodellkonzepten. In: Gausemeier, J. (Hrsg.): Vorausschau und Technologieplanung. HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 198, Paderborn, 2017
- [ELW06] EVERSHEIM, W.; LIESTMANN, V.; WINKELMANN, K.: Anwendungspotenziale ingenieurwissenschaftlicher Methoden für das Service Engineering. In: Bullinger, H.-J.; Scheer, A.-W.; Schneider, K. (Hrsg.): Service Engineering - Entwicklung und Gestaltung innovativer Dienstleistungen. Springer Verlag, Berlin, 2006
- [EPR17] ENGELS, G.; PLASS, C.; RAMMIG, F.-J.: IT-Plattformen für die Smart Service Welt - Verständnis und Handlungsfelder, München, 2017
- [FAH95] FAHRWINKEL, U.: Methoden zur Modellierung und Analyse von Geschäftsprozessen zur Unterstützung des Business Process Reengineering. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 1, Paderborn, 1995
- [FG02] FANO, A.; GERSHMAN, A.: The future of business services in the age of ubiquitous computing. Communications of the ACM, Vol. 45, Iss. 12, 2002
- [FG13] FELDHUSEN, J.; GROTE, K.-H.: Pahl/Beitz Konstruktionslehre - Methoden und Anwendung erfolgreicher Produktentwicklung. Springer Verlag, Berlin, 2013
- [FKR+18] FRANK, M.; KOLDEWEY, C.; RABE, M.; DUMITRESCU, R.; GAUSEMEIER, J.; KÜHN, A.: Smart Services - Konzept einer neuen Marktleistung. ZWF Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, Vol. 113, Iss. 5, 2018
- [Fle10] FLEISCH, E.: What is the Internet of Things? - An economic Perspective. Economics, Management, and Financial Markets, Vol. 5, Iss. 2, 2010
- [FM08] FLEISCH, E.; MÜLLER-STEWENS, G.: High-Resolution-Management - Konsequenzen des „Internet der Dinge“ auf die Unternehmensführung. Zeitschrift Führung und Organisation, Vol. 77, Iss. 5, 2008
- [FMS12] FRIEDENTHAL, S.; MOORE, A.; STEINER, R.: A Practical Guide to SysML - The Systems Modeling Language. Morgan Kaufmann OMG Press, New York, 2012
- [Fra18-ol] FRAUNHOFER IAO: Service Engineering reference model. Unter: http://www.dlpm.iao.fraunhofer.de/en/themen/serviceengineering/reference_model.html, Letzter Zugriff 19. Oktober 2018

- [FRK+19] FRANK, M.; RABE, M.; KOLDEWEY, C.; DUMITRESCU, R.; GAUSEMEIER, J.; HENNIG-CARDINAL VON WIDDERN, N.; REINHOLD, J.: Classification-based Planning of Smart Service Portfolios. In: International Society for Professional Innovation Management (ISPIM) (Hrsg.): Proceedings of the ISPIM Connects Conference 2019, 7.-9. April 2019, Ottawa, 2019
- [FST09] FLEISCH, E.; SARMA, S.; THIESSE, F.: Preface to the focus theme section: 'Internet of things'. Electronic Markets, Vol. 19, Iss. 2-3, 2009
- [FWW14] FLEISCH, E.; WEINBERGER, M.; WORTMANN, F.: Geschäftsmodelle im Internet der Dinge. St. Gallen, 2014
- [FWW15] FLEISCH, E.; WEINBERGER, M.; WORTMANN, F.: Geschäftsmodelle im Internet der Dinge. Schmalenbachs Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung, Vol. 4, Iss. 67, 2015
- [FWW17] FLEISCH, E.; WEINBERGER, M.; WORTMANN, F.: Geschäftsmodelle im Internet der Dinge. In: Reinheimer, S. (Hrsg.): Industrie 4.0, Springer Verlag, Wiesbaden, 2017
- [GAD+14] GAUSEMEIER, J.; AMSHOFF, B.; DÜLME, C.; KAGE, M.: Strategische Planung von Marktleistungen im Kontext Industrie 4.0. In: Gausemeier, J. (Hrsg.): Vorausschau und Technologieplanung. HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 334, Paderborn, 2014
- [Gar17] GARTNER RESEARCH: Leading the IoT - Gartner Insights on How to Lead in a Connected World. Stanford, 2017
- [GB12] GEISBERGER, E.; BROY, M.: agendaCPS - Integrierte Forschungsagenda Cyber-Physical Systems. Springer Verlag, Berlin
- [GDE+19] GAUSEMEIER, J.; DUMITRESCU, R.; ECHTERFELD, J.; PFÄNDER, T.; STEFFEN, D.; THIELEMANN, F.: Innovationen für die Märkte von morgen - Strategische Planung von Produkten, Dienstleistungen und Geschäftsmodellen. Carl Hanser Verlag, München, 2019
- [GDS+14] GAUSEMEIER, J.; DUMITRESCU, R.; STEFFEN, D.; CZAJA, A.; WIEDERKEHR, O.; TSCHIRNER, C.: Systems Engineering in der industriellen Praxis. Paderborn, 2014
- [GDS09] GARREL, J. von; DENGLER, T.; SEEGER, J.: Industrielle Betreibermodelle. In: Schenk, M. (Hrsg.): Internationalisierung industrieller Dienstleistungen - Konzepte, Modelle und Methoden. Gabler Verlag, Wiesbaden, 2009
- [GEK01] GAUSEMEIER, J.; EBBESMEYER, P.; KALLMEYER, F.: Produktinnovation - Strategische Planung und Entwicklung der Produkte von morgen. Hanser Verlag, München, 2001
- [GF05] GEBAUER, H.; FRIEDLI, T.: Behavioral implications of the transition process from products to services. Journal of Business & Industrial Marketing, Vol. 20, Iss. 2, 2005
- [GFC13] GASSMANN, O.; FRANKENBERGER, K.; CSIK, M.: Geschäftsmodelle entwickeln - 55 innovative Konzepte mit dem St. Galler Business Model Navigator. Carl Hanser Verlag, München, 2013
- [GFF05] GEBAUER, H.; FLEISCH, E.; FRIEDLI, T.: Overcoming the Service Paradox in Manufacturing Companies. European Management Journal, Vol. 23, Iss. 1, 2005
- [GFH06] GEBAUER, H.; FLEISCH, E.; HILDENBRAND, K.: Servicestrategien für die Industrie. Harvard Business Manager, Iss. 6, 2006
- [GJS16] GEBAUER, H.; JONCOURT, S.; SAUL, C.: Der Wandel vom Produzenten zum Dienstleister - Eine konzeptionelle Analyse der Servicetransformation im Wassersektor. In: Bruhn, M.; Hadwich, K. (Hrsg.): Servicetransformation - Entwicklung vom Produktanbieter zum Dienstleistungsunternehmen. Springer Gabler Verlag, Wiesbaden, 2016
- [GKD+16] GAUSEMEIER, J.; KLOCKE, F.; DÜLME, C.; ECKELT, D.; KABASCI, P.; KOHLHUBER, M.; SCHÖN, N.; SCHRÖDER, S.: Industrie 4.0 - Internationaler Benchmark, Zukunftsoptionen und Handlungsempfehlungen für die Produktionsforschung. Paderborn, Aachen, 2016

- [GLL12] GAUSEMEIER, J.; LANZA, G.; LINDEMANN, U.: Produkte und Produktionssysteme integrativ konzipieren - Modellbildung und Analyse in der frühen Phase der Produktentstehung. Carl Hanser Verlag, München, 2012
- [GP14] GAUSEMEIER, J.; PLASS, C.: Zukunftsorientierte Unternehmensgestaltung. Carl Hanser Verlag, München, 2014
- [GSL14] GORECKY, D.; SCHMITT, M.; LOSKYLL, M.: Mensch-Maschine-Interaktion im Industrie 4.0-Zeitalter. In: Bauernhansl, T.; Hompel, M. t.; Vogel-Heuser, B. (Hrsg.): Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik - Anwendungen, Technologien, Migration. Springer Verlag, Wiesbaden, 2014
- [GTD13] GAUSEMEIER, J.; TSCHIRNER, C.; DUMITRESCU, R.: Der Weg zu Intelligenten Technischen Systemen - Spitzencluster it's OWL – Mit Intelligenten Technischen Systemen an die Spitze. Industrie Management, Vol. 29, Iss. 1, 2013
- [GTS+14] GAUSEMEIER, J.; TRÄCHTLER, A.; SCHÄFER, W.; ANACKER, H.; BAUER, F.; BORCHERING, H.; DZIWOK, S.; FRANK, U.; HERDEN, R.; HOPPE, G.; JUST, V.; KIELE-DUNSCH, M.; KRUSE, D.; OESTERSÖTEBIER, F.; PAPPENFORTH, J.; POHLMANN, U.; REDDEHASE, H.; RIEKE, J.; SCHIERBAUM, T.; SEIFERT, L.; STICHWEH, H.; TEICHRIEB, H.; WAGNER, R.; WESSELS, S.: Semantische Technologien im Entwurf mechatronischer Systeme - Effektiver Austausch von Lösungswissen in Branchenwertschöpfungsketten. Carl Hanser Verlag, München, 2014
- [GWE+17] GAUSEMEIER, J.; WIESEKE, J.; ECHTERHOFF, B.; ISENBERG, L.; KOLDEWEY, C.; MITTAG, T.; SCHNEIDER, M.: Mit Industrie 4.0 zum Unternehmenserfolg - Integrative Planung von Geschäftsmodellen und Wertschöpfungssystemen. Paderborn, 2017
- [Har15] HARBOR RESEARCH: Smart Systems and the Internet of Things Stack. Denver, 2015
- [HHJ+17] HARLAND, T.; HUSMANN, M.; JUSSEN, P.; KAMPKER, A.; STICH, V.: Sechs Prinzipien für datenbasierte Dienstleistungen der Industrie. In: Borgmeier, A.; Grohmann, A.; Gross, S. F. (Hrsg.): Smart Services und Internet der Dinge - Geschäftsmodelle, Umsetzung und Best Practices, Carl Hanser Verlag, München, 2017
- [Hit07] HITCHINS, D. K.: Systems Engineering - A 21st Century Systems Methodology. John Wiley Press, Hoboken, 2007
- [HS12] HERING, E.; SCHÖNFELDER, G.: Sensoren in Wissenschaft und Technik - Funktionsweise und Einsatzgebiete. Vieweg+Teubner Verlag, 1. Auflage, Wiesbaden, 2012
- [HWF+12] HABERFELLNER, R.; WECK, O. de; FRICKE, E.; VÖSSNER, S.: Systems Engineering - Grundlagen und Anwendung. Orell Füssli Verlag, 12. Auflage, Zürich, 2012
- [IEM19-ol] FRAUNHOFER IEM: GEMINI-Kartenset Geschäftsmodellmuster. Unter: <https://www.iem.fraunhofer.de/de/forschung/forschungsprojekte/gemini/gemini-kartenset.html>, Letzter Zugriff 17. Mai 2019
- [INC14] INCOSE - INTERNATIONAL COUNCIL ON SYSTEMS ENGINEERING: Systems Engineering Vision 2025 - A World in Motion. San Diego, 2014
- [INC15] INCOSE - INTERNATIONAL COUNCIL ON SYSTEMS ENGINEERING: Systems Engineering Handbook - A Guide for System Life Cycle Processes and Activities. Wiley Press, 4. Edition, Hoboken, 2015
- [JCB+14] JANKOWSKI, S.; COVELLO, J.; BELLINI, H.; RITCHIE, J.; COSTA, D.: The Internet of Things - Making Sense of the next Mega-Trend. New York, 2014
- [Kai14] KAISER, L.: Rahmenwerk zur Modellierung einer plausiblen Systemstruktur mechatronischer Systeme. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 327, Paderborn, 2014

- [Kal98] KALLMEYER, F.: Eine Methode zur Modellierung prinzipieller Lösungen mechatronischer Systeme. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 42, Paderborn, 1998
- [KGK+17] KOWALKOWSKI, C.; GEBAUER, H.; KAMP, B.; PARRY, G.: Servitization and deservitization - Overview, concepts, and definitions. *Industrial Marketing Management*, Vol. 60, 2017
- [KGL+17] KNOP, S.; GALIPOGLU, E.; LUBARSKI, A.; PÖPPELBUß, J.: Quo Innovadis? The Who, the What and the How of Research at the Intersection of ICT and Service Innovation. In: Chang, C.-C.; Ma, M. (Hrsg.): *Proceedings of International Conference on Information Systems, 27-29 December 2017, Singapore, 2017*
- [KHH+11] KNYPHAUSEN-AUFSEß, D. zu; HETTINGA, E. van; HARREN, H.; FRANKE, T.: Das Erlösmodell als Teilkomponente des Geschäftsmodells. In: Bieger, T.; Knyphausen-Aufseß, D. zu; Kryz, C. (Hrsg.): *Innovative Geschäftsmodelle - Konzeptionelle Grundlagen, Gestaltungsfelder und unternehmerische Praxis*, Springer Verlag, Berlin, 2011
- [KJF17] KAMPKER, A.; JUSSEN, P.; FRANK, J.: *Digitale Vernetzung im Service - Wandel im Servicegeschäft zwingt Unternehmen zum Handeln*. Aachen, 2017
- [KJR+18] KÜHN, A.; JOPPEN, R.; REINHART, F.; RÖLTGEN, D.; ENZBERG, S. von; DUMITRESCU, R.: Analytics Canvas - A Framework for the Design and Specification of Data Analytics Projects. In: Laroche, F.; Bernard, A. (Hrsg.): *Proceedings of 28th CIRP Design Conference, 23-25 May 2018, Nantes, 2018*
- [KKO17] KOTLER, P.; KELLER, K. L.; OPRESNIK, M. O.: *Marketing-Management - Konzepte - Instrumente - Unternehmensfallstudien*. Pearson Verlag, 15. Auflage, Hallbergmoos, 2017
- [KMM11] KIENINGER, T.; MEIREN, T.; MÜNSTER, M.: Entwicklung Internet-basierter Services für den Maschinen- und Anlagenbau. In: Schweiger, S.; Dressel, K.; Pfeiffer, B. (Hrsg.): *Serviceinnovationen in Industrieunternehmen erfolgreich umsetzen - Neue Geschäftspotenziale gezielt durch Dienstleistungen ausschöpfen*. Gabler Verlag, Wiesbaden, 2011
- [Köc03] KÖCKERLING, M.: Methodische Entwicklung und Optimierung der Wirkstruktur mechatronischer Produkte. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 143, Paderborn, 2003
- [KPL16] KLEINSCHMIDT, S.; PETERS, C.; LEIMEISTER, J. M.: ICT-Enabled Service Innovation in Human-Centered Service Systems - A Systematic Literature Review. In: Association for Information Systems (Hrsg.): *Proceedings of the International Conference of Information Systems, 11-14 December 2016, Dublin, 2016*
- [KRH+15] KAGERMANN, H.; RIEMENSBERGER, F.; HOKE, D.; SCHUH, G.; SCHEER, A.-W.; SPATH, D.; LEUKERT, B.; WAHLSTER, W.; ROHLER, B.; SCHWEER, D.: *Smart Service Welt - Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Internetbasierte Dienste für die Wirtschaft*. Berlin, 2015
- [KRW+16] KAGERMANN, H.; RIEMENSBERGER, F.; WECKESSER, P.; JOOST, G.; LEUCKERT, B.; WAHLSTER, W.: *Smart Service Welt - Digitale Serviceplattformen - Praxiserfahrungen aus der Industrie*. Berlin, 2016
- [Küh16] KÜHN, A. T.: Systematik zur Release-Planung intelligenter technischer Systeme. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, Paderborn, 2016
- [KWB+17] KUHLENKÖTTER, B.; WILKENS, U.; BENDER, B.; ABRAMOVICI, M.; SÜBE, T.; GÖBEL, J.; HERZOG, M.; HYPKI, A.; LENKENHOFF, K.: New Perspectives for Generating Smart PSS Solutions - Life Cycle, Methodologies and Transformation. In: McAloone, T.; Pigosso, D.; Mortensen, N.; Shimomura, Y. (Hrsg.): *Proceedings of 9th CIRP Conference Industrial Product-Service Systems, 19-21 June 2017, Lyngby, 2017*

- [KWH13] KAGERMANN, H.; WAHLSTER, W.; HELBIG, J.: Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0 - Abschlussbericht des Arbeitskreises Industrie 4.0. Frankfurt am Main, 2013
- [Lev76] LEVITT, T.: The Industrialization of Service. *Harvard Business Review*, Vol. 54, Iss. 5, 1976
- [LG04] LOVELOCK, C.; GUMMESSON, E.: Whither Services Marketing? - In Search of a New Paradigm and Fresh Perspectives. *Journal of Service Research*, Vol. 7, Iss. 1, 2004
- [LG14] LERCH, C.; GOTSCH, M.: Die Rolle der Digitalisierung bei der Transformation vom Produzenten zum produzierenden Dienstleister. *Die Unternehmung*, Vol. 68, Iss. 4, 2014
- [LM12] LINZ, C.; MÜLLER-STEWENS, G.: Lösungsanbieterstrategien. *Schmalenbachs Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung*, Vol. 64, Iss. S65, 2012
- [LMB09] LINDEMANN, U.; MAURER, M.; BRAUN, T.: *Structural Complexity Management - An Approach for the Field of Product Design*. Springer Verlag, Berlin, 2009
- [LMZ17] LINZ, C.; MÜLLER-STEWENS, G.; ZIMMERMANN, A.: *Radical business model transformation - Gaining the competitive edge in a disruptive world*. Kogan Page Press, London, 2017
- [LN15] LUSCH, R. F.; NAMBIAN, S.: Service Innovation - A Service-Dominant Logic Perspective. *MIS Quarterly*, Vol. 39, Iss. 1, 2015
- [LPL16] LI, M.; PETERS, C.; LEIMEISTER, J. M.: Digitale Service-Systeme. In: Gassmann, O.; Sutter, P. (Hrsg.): *Digitale Transformation im Unternehmen gestalten*. Carl Hanser Verlag, München, 2016
- [LSB+15] LICHTBLAU, K.; STICH, V.; BERTENRATH, R.; BLUM, M.; BLEIDER, M.; MILLACK AGNES; SCHMITT, K.; SCHMITZ, E.; SCHRÖTER, M.: *Industrie 4.0 Readiness - IMPULS Studie*. Aachen, 2015
- [Mau07] MAURER, M.: *Structural awareness in complex product design*. Dissertation, Fakultät für Maschinenwesen, Technische Universität München, München, 2007
- [MB06] MEFFERT, H.; BRUHN, M.: *Dienstleistungsmarketing - Grundlagen, Konzepte, Methoden*. Springer Gabler, 5. Auflage, Wiesbaden, 2006
- [MCB+15] MANYIKA, J.; CHUI, M.; BISSON, P.; WOETZEL, J.; DOBBS, R.; BUGHIN, J.; AHARON, D.: *The Internet of Things - Mapping the value beyond the hype*. San Francisco, 2015
- [MF10] MATTERN, F.; FLÖRKEMEIER, C.: Vom Internet der Computer zum Internet der Dinge. *Informatik-Spektrum*, Vol. 33, Iss. 2, 2010
- [Mit19] MITTAG, T.: *Systematik zur Gestaltung der Wertschöpfung für digitalisierte hybride Marktleistungen*. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, Paderborn, 2019
- [MKK06] MEIER, H.; KORTMANN, D.; KRUG, C.: Von der Technologie- zur Nutzenführerschaft - Die Zukunft der Werkzeugmaschine als hybrides Leistungsbündel. *ZWF Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb*, Vol. 101, Iss. 7-8, 2006
- [MKS+09] MÜLLER, P.; KEBIR, N.; STARK, R.; BLESSING, L.: PSS Layer Method – Application to Microenergy Systems. In: Sakao, T.; Lindahl, M. (Hrsg.): *Introduction to Product/Service-System Design*. Springer Verlag, London, 2009
- [MM16] MAHMOUD, M. S.; MOHAMAD, A. A. H.: A Study of Efficient Power Consumption Wireless Communication Techniques/ Modules for Internet of Things (IoT) Applications. *Advances in Internet of Things*, Vol. 06, Iss. 02, 2016
- [Mon00] MONT, O.: *Product-Service Systems - Final Report*. Stockholm, 2000

- [Mon02] MONT, O.: Clarifying the concept of product–service system. *Journal of Cleaner Production*, Vol. 10, Iss. 3, 2002
- [MP14] MAYER, F.; PANTFÖRDER, D.: Unterstützung des Menschen in Cyber-Physical-Production-Systems. In: Bauernhansl, T.; Hompel, M. t.; Vogel-Heuser, B. (Hrsg.): *Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik - Anwendungen, Technologien, Migration*. Springer Verlag, Wiesbaden, 2014
- [MRG+18] MITTAG, T.; RABE, M.; GRADERT, T.; KÜHN, A.; DUMITRESCU, R.: Building blocks for planning and implementation of smart services based on existing products. In: Sakao, T.; Lindahl, M.; Liu, Y.; Dalhammar, C. (Hrsg.): *Proceedings of 10th CIRP Conference on Industrial Product-Service Systems, 29-31 May 2018, Linköping, 2018*
- [MS10] MÜLLER, P.; STARK, R.: A generic PSS development process model based on theory and an empirical study. In: Marjanovic D.; Storga M.; Pavkovic N.; Bojetic N. (Hrsg.): *Proceedings of the 11th International Design Conference, 14-17 May 2010, Dubrovnik, 2010*
- [MSA15] MEIREN, T.; SACCANI, N.; ALGHISI, A.: Development of Smart Services in Manufacturing Companies. In: Sundbo, J.; Fuglsang, L.; Sørensen, F.; Balsby, N. (Hrsg.): *Proceedings of RESER Conference Innovative Services in the 21st Century, 10-12 September 2015, Kopenhagen, 2015*
- [MSG+17] MITTAG, T.; SCHNEIDER, M.; GAUSEMEIER, J.; RABE, M.; KÜHN, A.; DUMITRESCU, R.: Auswirkungen von Smart Services auf bestehende Wertschöpfungssysteme. In: Bodden, E.; Dressler, F.; Dumitrescu, R.; Gausemeier, J.; Meyer auf der Heide, Friedhelm; Scheytt, C.; Trächtler, A. (Hrsg.): *Wissenschaftsforum Intelligente Technische Systeme (WInTeSys) 2017, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 369, Paderborn, 2017*
- [MU12] MEIER, H.; UHLMANN, E.: Hybride Leistungsbündel - ein neues Produktverständnis. In: Meier, H.; Uhlmann, E. (Hrsg.): *Integrierte Industrielle Sach- und Dienstleistungen - Vermarktung, Entwicklung und Erbringung hybrider Leistungsbündel*. Springer Verlag, Berlin, 2012
- [Mül13] MÜLLER, P.: Integrated engineering of products and services - Layer-based development methodology for product-service systems. Dissertation, Fakultät Verkehrs- und Maschinensysteme, Technische Universität Berlin, Berlin, 2013
- [MVF11] MEIER, H.; VÖLKER, O.; FUNKE, B.: Industrial Product-Service Systems (IPS2). *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 52, Iss. 9-12, 2011
- [NAR+18] NIEWÖHNER, N.; ALBERS, A.; RABE, M.; DUMITRESCU, R.: Morphological business model analysis to derive the dominant industry logic. In: *International Society for Professional Innovation Management (ISPIM) (Hrsg.): Proceedings of the 7th ISPIM Innovation Forum, 25-28 March 2018, Boston, 2018*
- [Ng10] NG, I. C. L.: The future of pricing and revenue models. *Journal of Revenue and Pricing Management*, Vol. 9, Iss. 3, 2010
- [OK03] OLIVA, R.; KALLENBERG, R.: Managing the transition from products to services. *International Journal of Service Industry Management*, Vol. 14, Iss. 2, 2003
- [OP11] OSTERWALDER, A.; PIGNEUR, Y.: *Business Model Generation - Ein Handbuch für Visionäre, Spielveränderer und Herausforderer*. Campus Verlag, Frankfurt, New York, 2011
- [OT15] OPRESNIK, D.; TAISCH, M.: The value of Big Data in servitization. *International Journal of Production Economics*, Vol. 165, 2015
- [Pal17] PALUCH, S.: Smart Services - Analyse von strategischen und operativen Auswirkungen. In: Bruhn, M.; Hadwich, K. (Hrsg.): *Dienstleistungen 4.0 (Band 2) - Geschäftsmodelle - Wertschöpfung - Transformation*. Springer Verlag, Wiesbaden, 2017

- [PD17] PÖPPELBUß, J.; DURST, C.: Smart Service Canvas – Ein Werkzeug zur strukturierten Beschreibung und Entwicklung von Smart-Service-Geschäftsmodellen. In: Bruhn, M.; Hadwich, K. (Hrsg.): Dienstleistungen 4.0 (Band 2) - Geschäftsmodelle - Wertschöpfung - Transformation. Springer Verlag, Wiesbaden, 2017
- [PE94] PIMMLER, T.; EPPINGER, S.: Integration Analysis of Product Decomposition. In: American Society of Mechanical Engineers (ASME) (Hrsg.): Proceedings of ASME Design Theory and Methodology Conference, Minneapolis, 1994
- [Pei15] PEITZ, C.: Systematik zur Entwicklung einer produktlebenszyklusorientierten Geschäftsmodell-Roadmap. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 337, Paderborn, 2015
- [PH14] PORTER, M. E.; HEPPELMANN, J. E.: Wie Smarte Produkte den Wettbewerb verändern. Harvard Business Manager, Vol. 36, Iss. 12, 2014
- [PH15] PORTER, M. E.; HEPPELMANN, J. E.: Wie Smarte Produkte Unternehmen verändern. Harvard Business Manager, Vol. 37, Iss. 12, 2015
- [PH17] PORTER, M. E.; HEPPELMANN, J. E.: Why Every Organization Needs an Augmented Reality Strategy. Harvard Business Review, Vol. 95, Iss. 6, 2017
- [PH18] POSTSCAPES; HARBOR RESEARCH: What Is The “Internet of Things? - Internet of Things Infographic. Denver, 2018
- [PLL+17] PARSON, C.; LEUTIGER, P.; LANG, A.; BORN, D.: Fair Play in der digitalen Welt - Wie Europa für Plattformen den richtigen Rahmen setzt. Berlin, 2017
- [Por13] PORTER, M. E.: Wettbewerbsstrategie - Methoden zur Analyse von Branchen und Konkurrenten. Campus Verlag, 12. Auflage, Frankfurt am Main, 2013
- [PP16] PARBS, H.; PÖPPELBUß, J.: Servicetransformation in der Windenergiebranche. In: Bruhn, M.; Hadwich, K. (Hrsg.): Servicetransformation - Entwicklung vom Produkthanbieter zum Dienstleistungsunternehmen. Springer Gabler Verlag, Wiesbaden, 2016
- [Qua15-ol] QUACK, KARIN: Smart Services - Die nutzerorientierte Schwester der Industrie 4.0. Unter: <https://www.computerwoche.de/a/smart-services-die-nutzerorientierte-schwester-der-industrie-4-0,3095790>, Letzter Zugriff 31. Oktober 2018
- [RAK+18] RABE, M.; ASMAR, L.; KÜHN, A.; DUMITRESCU, R.: Planning of Smart Services based on a Reference Architecture. In: Marjanović, D.; Štorga, M.; Škec, S.; Bojčetić, N.; Pavković, N. (Hrsg.): Proceedings of the 15th International Design Conference, 21.-24. May 2018, Dubrovnik, 2018
- [Rei16] REINHART, F.: Industrial Data Science - Data Science in der industriellen Anwendung. Industrie 4.0 Management, Vol. 32, Iss. 6, 2016
- [RKD+18] RABE, M.; KÜHN, A.; DUMITRESCU, R.; MITTAG, T.; SCHNEIDER, M.; GAUSEMEIER, J.: Impact of smart services to current value networks. Journal of Mechanical Engineering, Vol. 5, Iss. SI 4, 2018
- [RKD17] REINHART, F.; KÜHN, A.; DUMITRESCU, R.: Layer Model for the Development of Data Science Applications in Plants and Machines. In: Boddien, E.; Dressler, F.; Dumitrescu, R.; Gausemeier, J.; Meyer auf der Heide, Friedhelm; Scheytt, C.; Trächtler, A. (Hrsg.): Wissenschaftsforum Intelligente Technische Systeme (WInTeSys) 2017, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 369, Paderborn, 2017
- [RMG+11] RESE, M.; MEIER, H.; GESING, M.; BLOßLAU, M.: HLB-Geschäftsmodelle - Partialmodellierung zur Systematisierung von Geschäftsmodellen „Hybrider Leistungsbündel“ (HLB). wt Werkstatttechnik online, Vol. 101, Iss. 7/8, 2011
- [Rot00] ROTH, K.: Konstruieren mit Konstruktionskatalogen - Band 1: Konstruktionslehre. Springer Verlag, 3. Auflage, Berlin, 2000

- [Rot01] ROTH, K.: Konstruieren mit Konstruktionskatalogen - Band 2: Kataloge. Springer Verlag, 3. Auflage, Berlin, 2001
- [RPÖ15] REIM, W.; PARIDA, V.; ÖRTQVIST, D.: Product–Service Systems (PSS) business models and tactics – a systematic literature review. *Journal of Cleaner Production*, Vol. 97, 2015
- [SA07] STEFFEN, R.; AUGEL, M.: Mit Low-Power-Funktechnologie auf dem Weg zu ubiquitous computing. In: Bullinger, H.-J.; Hompel, M. t. (Hrsg.): *Internet der Dinge*. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, 2007
- [Sal14] SALMINEN, J.: Digital services - How are they different? In: Tsai, J.-F.; Chantatub, W. (Hrsg.): *Proceedings of International Conference on Business, Information, and Cultural Creative Industry*, 6-8 August 2014, Taipei, 2014
- [SBV10] SCHUH, G.; BOOS, W.; VÖLKER, M.: Grundlagen für hybride Leistungsbündel für den europäischen Werkzeugbau. In: Böhm, T. (Hrsg.): *Proceedings der Teilkonferenz Integration von Produkt & Dienstleistung*, 23.-25. Februar 2010, Göttingen, 2010
- [Sch10] SCHWEITZER, E.: Lebenszyklusmanagement investiver Produkt-Service Systeme. In: Aurich, J. C.; Clement, M. H. (Hrsg.): *Produkt-Service Systeme - Gestaltung und Realisierung*, Springer Verlag, Berlin, 2010
- [Sch15] SCHENKL, S. A.: Wissensorientierte Entwicklung von Produkt-Service-Systemen. Dissertation, Fakultät für Maschinenwesen, Technische Universität München, München, 2015
- [Sch18] SCHNEIDER, M.: Spezifikationstechnik zur Beschreibung und Analyse von Wertschöpfungssystemen. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 386, Paderborn, 2018
- [SD06] SPATH, D.; DEMUß, L.: Entwicklung hybrider Produkte - Gestaltung materieller und immaterieller Leistungsbündel. In: Bullinger, H.-J.; Scheer, A.-W.; Schneider, K. (Hrsg.): *Service Engineering - Entwicklung und Gestaltung innovativer Dienstleistungen*. Springer Verlag, Berlin, 2006
- [SGK06] SCHEER, A.-W.; GRIEBLE, O.; KLEIN, R.: Modellbasiertes Dienstleistungsmanagement. In: Bullinger, H.-J.; Scheer, A.-W.; Schneider, K. (Hrsg.): *Service Engineering - Entwicklung und Gestaltung innovativer Dienstleistungen*. Springer Verlag, Berlin, 2006
- [Sho84] SHOSTACK, G. L.: Designing Services That Deliver. *Harvard Business Review*, Vol. 62, Iss. 1, 1984
- [Sie16] SIEMENS: The Role of Platforms for the Digitalisation of European Industry, 2016
- [Sie18-ol] SIEPERMANN, MARKUS: Definition: Edge Analytics. Unter: <https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/edge-analytics-54499/version-277528>, Letzter Zugriff 03. November 2018
- [Sim17] SIMON, H.: Preismanagement in digitalen Geschäftsmodellen. In: Bruhn, M.; Hadwich, K. (Hrsg.): *Dienstleistungen 4.0 - Konzepte, Methoden, Instrumente*. Springer Gabler Verlag, Wiesbaden, 2017
- [SJF18] STICH, V.; JUSSEN, P.; FRANK, J.: Datenbasierte Dienstleistungen - Mit datenbasierten Geschäftsmodellen in der produzierenden Industrie erfolgreich sein. Aachen, 2018
- [SM12] STARK, R.; MÜLLER, P.: HLB-Entwicklungsmethodik – generischer Entwicklungsprozess, Generierung von Anforderungen und Absicherung hybrider Leistungsbündel. In: Meier, H.; Uhlmann, E. (Hrsg.): *Integrierte Industrielle Sach- und Dienstleistungen - Vermarktung, Entwicklung und Erbringung hybrider Leistungsbündel*. Springer Verlag, Berlin, 2012

- [SR16] STOPPEL, E.; ROTH, S.: Value-Based Pricing im Kontext der Servicetransformation - Von produktzentrierten zu servicezentrierten Wertverständnissen und Preissystemen. In: Bruhn, M.; Hadwich, K. (Hrsg.): Servicetransformation - Entwicklung vom Produktanbieter zum Dienstleistungsunternehmen. Springer Gabler Verlag, Wiesbaden, 2016
- [SR17] STOPPEL, E.; ROTH, S.: The conceptualization of pricing schemes: From product-centric to customer-centric value approaches. *Journal of Revenue and Pricing Management*, Vol. 16, Iss. 1, 2017
- [SS10] SADEK, T.; STEVEN, M.: Design of PSS Revenue Models. In: Sakao, T.; Larsson, T.; Lindahl, M. (Hrsg.): Proceedings of CIRP Industrial Product-Service Systems Conference, 14-15 June 2010, Linköping, 2010
- [SSJ+17] STEENSTRUP, K.; SALLAM, R.; JACOBSON, S.; ERIKSEN, L.: Industrial Analytics Powered by the Internet of Things - The next wave of business transformation. *Datawatch*, Iss. 2, 2017
- [SSS+16] SCHUH, G.; SAUER, A.; SCHMIDT, C.; SCHÖNUNG, M.; SPILLE, J.: Erfolg mit Betreibermodellen - Studie im Maschinen- und Anlagenbau. Aachen, 2016
- [Sta18] STAUFEN AG: Deutscher Industrie 4.0 Index 2018. Köngen, 2018
- [Ste81] STEWARD, D. V.: The design structure system - A method for managing the design of complex systems. *IEEE Transactions on Engineering Management*, EM-28, Iss. 3, 1981
- [Sto09] STOLL, K.: Planung und Konzipierung von Marktleistungen. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 270, Paderborn, 2009
- [Sto16] STOPPEL, E.: Nutzungsabhängige Preissysteme auf industriellen Märkten. Springer Verlag, Wiesbaden, 2016
- [Str98] STRUBE, G.: Modelling motivation and action control in cognitive systems. In: Schmid, U.; Krems, J.; Wysocki, F. (Hrsg.): Mind Modelling - A Cognitive Science approach to Reasoning, Learning and Discovery. Pabst Science Publishers, Berlin, 1998
- [SWH17] SINHA, R. S.; WEI, Y.; HWANG, S.-H.: A survey on LPWA technology - LoRa and NB-IoT. *ICT Express*, Vol. 3, Iss. 1, 2017
- [THA17] TÄUSCHER, K.; HILBIG, R.; ABDELKAFI, N.: Geschäftsmodellelemente mehrseitiger Plattformen. In: Schallmo, D.; Anzengruber, J.; Rusnjak, A.; Werani, T.; Jünger, M. (Hrsg.): Digitale Transformation von Geschäftsmodellen - Grundlagen, Instrumente und Best Practices. Springer Gabler Verlag, Wiesbaden, 2017
- [Tsc16] TSCHIRNER, N. C.: Rahmenwerk zur Integration des modellbasierten Systems Engineering in die Produktentstehung mechatronischer Systeme. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, Paderborn, 2016
- [Tuk04] TUKKER, A.: Eight types of product-service system - Eight ways to sustainability? Experiences from SusProNet. *Business Strategy and the Environment*, Vol. 13, Iss. 4, 2004
- [Two18] TWO PILLARS: Mit CONSENS und iQUAVIS zu effizientem Engineering. Unter: <https://www.two-pillars.de/consens-methode-iquavis/>, Letzter Zugriff 05. November 2018
- [VDI2206] VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE: Entwicklungsmethodik für mechatronische Systeme (VDI 2206), 2004
- [Ver17] VERBAND DER ELEKTROTECHNIK: Funktechnologien für Industrie 4.0. Frankfurt am Main, 2017
- [VL04] VARGO, S. L.; LUSCH, R. F.: Evolving to a New Dominant Logic for Marketing. *Journal of Marketing*, Vol. 68, Iss. 1, 2004

- [VLR14] VOGEL-HEUSER, B.; LINDEMANN, U.; REINHART, G.: Innovationsprozesse zyklusorientiert managen - Verzahnte Entwicklung von Produkt-Service Systemen. Springer Vieweg Verlag, Berlin, 2014
- [VMA08] VARGO, S. L.; MAGLIO, P. P.; AKAKA, M. A.: On value and value co-creation: A service systems and service logic perspective. *European Management Journal*, Vol. 26, Iss. 3, 2008
- [VR88] VANDERMERWE, S.; RADA, J.: Servitization of business: Adding value by adding services. *European Management Journal*, Vol. 6, Iss. 4, 1988
- [VS12] VOEGELE, A.; SOMMER, L.: Kosten- und Wirtschaftlichkeitsrechnung für Ingenieure - Kostenmanagement im Engineering. Carl Hanser Verlag, München, 2012
- [WBF16] WEINBERGER, M.; BILGERI, D.; FLEISCH, E.: 20 Linsen auf digitale Geschäftsmodelle. In: Gassmann, O.; Sutter, P. (Hrsg.): *Digitale Transformation im Unternehmen gestalten*. Carl Hanser Verlag, München, 2016
- [WBW+17] WORTMANN, F.; BILGERI, D.; WEINBERGER, M.; FLEISCH, E.: Ertragsmodelle im Internet der Dinge. In: Seiter, M.; Grünert, L.; Berlin, S. (Hrsg.): *Betriebswirtschaftliche Aspekte von Industrie 4.0*. Springer Fachmedien, Wiesbaden, 2017
- [WCR08] WILLIAMS, K.; CHATTERJEE, S.; ROSSI, M.: Design of emerging digital Services - A Taxonomy. *European Journal of Information Systems*, Vol. 17, Iss. 5, 2008
- [Wes17] WESTERMANN, T.: Systematik zur Reifegradmodell-basierten Planung von Cyber-Physical Systems des Maschinen- und Anlagenbaus. Dissertation, Fakultät Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 375, Paderborn, 2017
- [WHO+15] WÜNDERLICH, N. V.; HEINONEN, K.; OSTROM, A. L.; PATRICIO, L.; SOUSA, R.; VOSS, C.; LEMMINK, J. G.A.M.: Futurizing smart service - implications for service researchers and managers. *Journal of Services Marketing*, Vol. 29, Iss. 6/7, 2015
- [Wir11] WIRTZ, B. W.: Business Model Management - Design - Instrumente - Erfolgsfaktoren von Geschäftsmodellen. Gabler Verlag, 2. Auflage, Wiesbaden, 2011
- [Wol15] WOLLERT, J. F.: Generische Funksysteme für IoT und Industrie 4.0. In: Cunningham, D.; Hofstedt, P.; Meer, K.; Schmitt, I. (Hrsg.): *INFORMATIK 2015 - LectureNotes in Informatics (LNI)*. Bonn, 2015
- [WS14] WEILKIENS, T.; SOLEY, R. M.: Systems Engineering mit SysML/UML - Anforderungen, Analyse, Architektur. d.punkt Verlag, 3. Auflage, Heidelberg, 2014
- [WWB12] WÜNDERLICH, N. V.; WANGENHEIM, F.; BITNER, M. J.: High Tech and High Touch - A Framework for Understanding User Attitudes and Behaviors Related to Smart Interactive Services. *Journal of Service Research*, Vol. 16, Iss. 1, 2012
- [ZA10] ZOTT, C.; AMIT, R.: Business Model Design - An Activity System Perspective. *Long Range Planning*, Vol. 43, Iss. 2-3, 2010
- [Zen11] ZENTRALVERBAND ELEKTROTECHNIK- UND ELEKTRONIKINDUSTRIE: Funklösungen in der Automation - Überblick und Entscheidungshilfen, Frankfurt am Main, 2011
- [ZPB85] ZEITHAML, V. A.; PARASURAMAN, A.; BERRY, L. L.: Problems and Strategies in Services Marketing. *Journal of Marketing*, Vol. 49, Iss. 2, 1985
- [ZWC+10] ZHU, Q.; WANG, R.; CHEN, Q.; LIU, Y.; QIN, W.: IOT Gateway - Bridging Wireless Sensor Networks into Internet of Things. In: Dourish, P.; Friday, A. (Hrsg.): *Proceedings of 8th International Conference on Embedded and Ubiquitous Computing*, 11-13 December, Hong Kong, IEEE, 2010
- [Zwi89] ZWICKY, F.: Entdecken, Erfinden, Forschen im morphologischen Weltbild. Baeschlin Verlag, 2. Auflage, Glarus, 1989

Anhang

Inhaltsverzeichnis

	Seite
A1 Referenzbausteine für Smart Services	A-3
A1.1 Anwendungsszenarien.....	A-4
A1.2 Erlösconzepte	A-20
A1.3 Produktstruktur.....	A-32
A1.4 Datenanalyse	A-35
A2 Verträglichkeitsmatrix	A-38
A2.1 Vertikale Sicht	A-38
A2.2 Horizontale Sicht.....	A-39

A1 Referenzbausteine für Smart Services

Im Folgenden werden alle vorgesehenen Referenzbausteine für Smart Services gezeigt, welche durch kompakte Steckbriefe dokumentiert sind. Die Steckbriefe bilden ein Kartenset und können z.B. in Workshops genutzt werden, um neue Ideen zu generieren. Bild A-1 zeigt das Ordnungs- und Farbschema der Referenzbausteine.

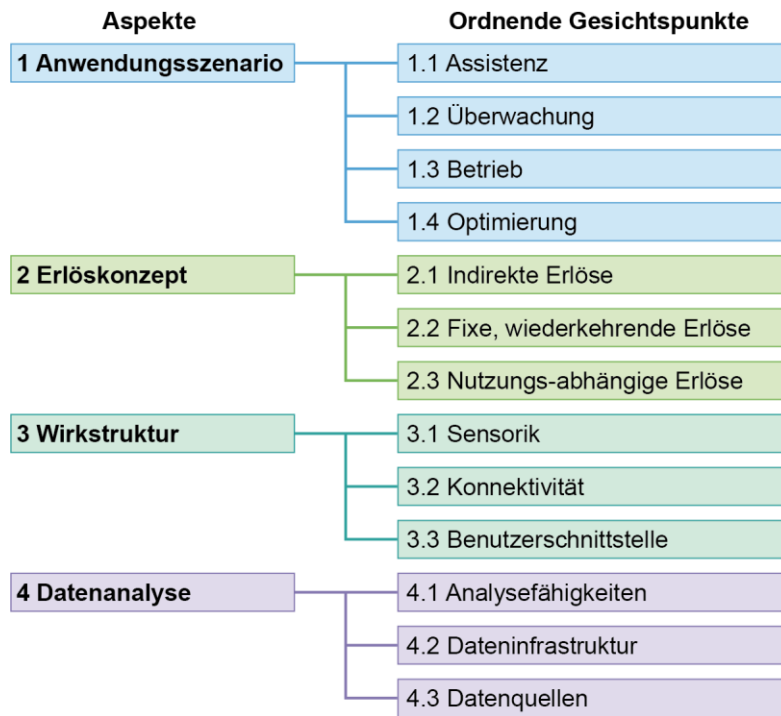


Bild A-1: Ordnungs- und Farbschema der Referenzbausteine

A1.1 Anwendungsszenarien

Bausteine für Smart Services

11.1

Anwendungsszenario

Assistenz

Beinhaltete Bausteine: Digitale Beratung, Anleitung und Self-Service, Fernzugriff

Beschreibung

Die Bausteine unterstützen Kunden oder Anbieter bei bestehenden, notwendigen Prozessen um das Produkt. Beratung, Anleitung, Wartung und Reparatur sind bei nahezu jedem Produkt notwendig. Durch die (teilweise) Digitalisierung der Prozesse erhalten Anbieter und Kunden eine Assistenz bei deren Ausführung. Die digitale Beratung senkt die Servicekosten bei einem gleichzeitig besseren Verständnis für den Kunden. Anleitungen und Self-Service ermöglichen die Übertragung von Aktivitäten auf den Kunden, wodurch z.B. Wartungen ohne Verzögerung bei geringeren Kosten durchgeführt werden können. Durch Fernwartung können Fachexperten effizienter und schneller zur Problemlösung eingesetzt werden.

In Anlehnung an GEMINI - Geschäftsmodelle für Industrie 4.0
<https://www.iem.fraunhofer.de/de/forschung/forschungsprojekte/gemini.html>


Bild A-2: Übergeordneter Baustein 1.1 - Assistenz

Bausteine für Smart Services

1 Anwendungsszenario

1.1 Assistenz

1.1.1 **Digitale Beratung**



Beschreibung

Eine digitale Beratung vor und während der Nutzungsphase kann über Internetseiten und mobile Applikationen erfolgen. Während der Nutzungsphase können Kunden bezüglich Erweiterungen oder zusätzlicher Produkte beraten werden auf Basis ihres Nutzungsverhaltens. Augmented Reality (AR) kann zum besseren Verständnis und Nutzererlebnis eingesetzt werden.

Nutzenversprechen

- Spontane, unverbindliche und individuelle Beratung
- Besseres Verständnis über das Produkt und dessen Nutzenversprechen (z.B. mit AR dargestellt)

In Anlehnung an GEMINI - Geschäftsmodelle für Industrie 4.0
<https://www.iem.fraunhofer.de/de/forschung/forschungsprojekte/gemini.html>

Bild A-3: Baustein 1.1.1 – Digitale Beratung

Bausteine für Smart Services

1 Anwendungsszenario

1.1 Assistenz

1.1.2 **Anleitung und Self-Service**



Beschreibung

Interaktive Anleitungen ermöglichen die Übernahme von Serviceprozessen durch den Kunden, welche zum Betrieb des Produkts notwendig sind (z.B. Wartung). Anleitungen müssen den Kunden durch intuitive, attraktive Nutzerführung befähigen und motivieren, die Aktivitäten korrekt auszuführen (z.B. mit Videos und Augmented Reality). Die Anleitungen können z.B. durch QR-Codes am Produkt mit einem Smartphone aufgerufen werden.

Nutzenversprechen

- Besseres Nutzererlebnis durch interaktive Anleitungen
- Kosteneinsparung durch eigenständige Durchführung
- Schnelle Reaktionszeit durch eigene Mitarbeiter vor Ort

In Anlehnung an GEMINI - Geschäftsmodelle für Industrie 4.0
<https://www.iem.fraunhofer.de/de/forschung/forschungsprojekte/gemini.html>


Bild A-4: Baustein 1.1.2 – Anleitung und Self-Service

Bausteine für Smart Services

1 Anwendungsszenario

1.1 Assistenz

1.1.3 Fernzugriff



Beschreibung

Durch (mobile) Endgeräte kann ein Produkt überwacht und gesteuert werden. Die Möglichkeiten reichen von einfachen Informationen auf mobilen Endgeräte bis zu Veränderungen detaillierter Parameter an stationären Endgeräten. Abhängig von Kontext und Endgerät können unterschiedliche Modi bzw. Eingriffsmöglichkeiten realisiert werden (z.B. Benutzer- und Expertenmodus).

Nutzenversprechen

- Ständige Verfügbarkeit von Informationen bezüglich des Produkts und verbundener Prozesse
- Schnelle Reaktion und Veränderungen von Parametern

In Anlehnung an GEMINI - Geschäftsmodelle für Industrie 4.0
<https://www.iem.fraunhofer.de/de/forschung/forschungsprojekte/gemini.html>

Bild A-5: Baustein 1.1.3 – Fernzugriff

Bausteine für Smart Services

1 Anwendungsszenario

1.2 **Überwachung**

Beinhaltete Bausteine: Monitoring, Hinweis und Warnung, Serviceunterstützung

Beschreibung

Die Bausteine ermöglichen eine verbesserte Überwachung und Steuerung des Systems. Durch Monitoring des Systems können Fachexperten in ihren Entscheidungen und bei Problemlösungen unterstützt werden, wie z.B. bei der Einstellung von Prozessparametern. Hinweise und Warnungen können bei vernetzten Systemen auf anderen Endgeräten angezeigt werden und die manuelle Überwachung reduzieren. Des Weiteren können Hinweise und Warnungen vorgefiltert und passenden Ansprechpartnern angezeigt werden. Die Serviceunterstützung dient der Rationalisierung von Wartung und Reparatur durch Kunden oder Anbieter.

In Anlehnung an GEMINI - Geschäftsmodelle für Industrie 4.0
<https://www.iem.fraunhofer.de/de/forschung/forschungsprojekte/gemini.html>

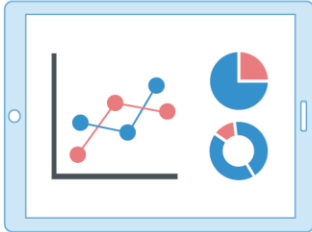
Bild A-6: Übergeordneter Baustein 1.2 – Überwachung

Bausteine für Smart Services

1 Anwendungsszenario

1.2 Überwachung

1.2.1 **Monitoring**



Beschreibung

Der Nutzer erhält Informationen über das Produkt und zugehörige Prozesse, welche übersichtlich dargestellt werden, wie z.B. durch ein Dashboard. Die Informationen entstehen aus Daten bezüglich des Zustands und der Nutzung des Produkts sowie dessen Umfeld, welche mit externen Informationen angereichert werden können (z.B. Wetterdaten). Der Nutzer selbst kann ebenfalls Daten liefern, wie z.B. über den qualitativen Zustand eines Produkts oder das Prozessergebnis.

Nutzenversprechen

- Mehr Informationen über Produkt und Prozesse
- Entscheidungsgrundlage für Veränderungen am Prozess oder Neuansschaffungen

In Anlehnung an GEMINI - Geschäftsmodelle für Industrie 4.0
<https://www.iem.fraunhofer.de/de/forschung/forschungsprojekte/gemini.html>


Bild A-7: Baustein 1.2.1 – Monitoring

Bausteine für Smart Services

1 Anwendungsszenario

1.2 Überwachung

1.2.2 **Hinweis und Warnung**



Beschreibung

Auf Basis definierter Regeln oder Datenmodellen werden Hinweise und Warnungen bezüglich des Produkts erzeugt, wie z.B. Anomalien im Prozess. Die Warnungen können unterschiedlichen Personen mit unterschiedlichen Endgeräten angezeigt werden, um präventiv in den Prozess einzugreifen. Hinweise und Warnungen können sich auch auf externe Informationen beziehen, welche das Produkt betreffen, wie z.B. Veränderung der Nachfrage oder des Wetters.

Nutzenversprechen

- Schnellere Reaktion auf positive als auch negative Einflüsse und Veränderungen
- Geringerer Überwachungsaufwand

In Anlehnung an GEMINI - Geschäftsmodelle für Industrie 4.0
<https://www.iem.fraunhofer.de/de/forschung/forschungsprojekte/gemini.html>

Bild A-8: Baustein 1.2.2 – Hinweis und Warnung

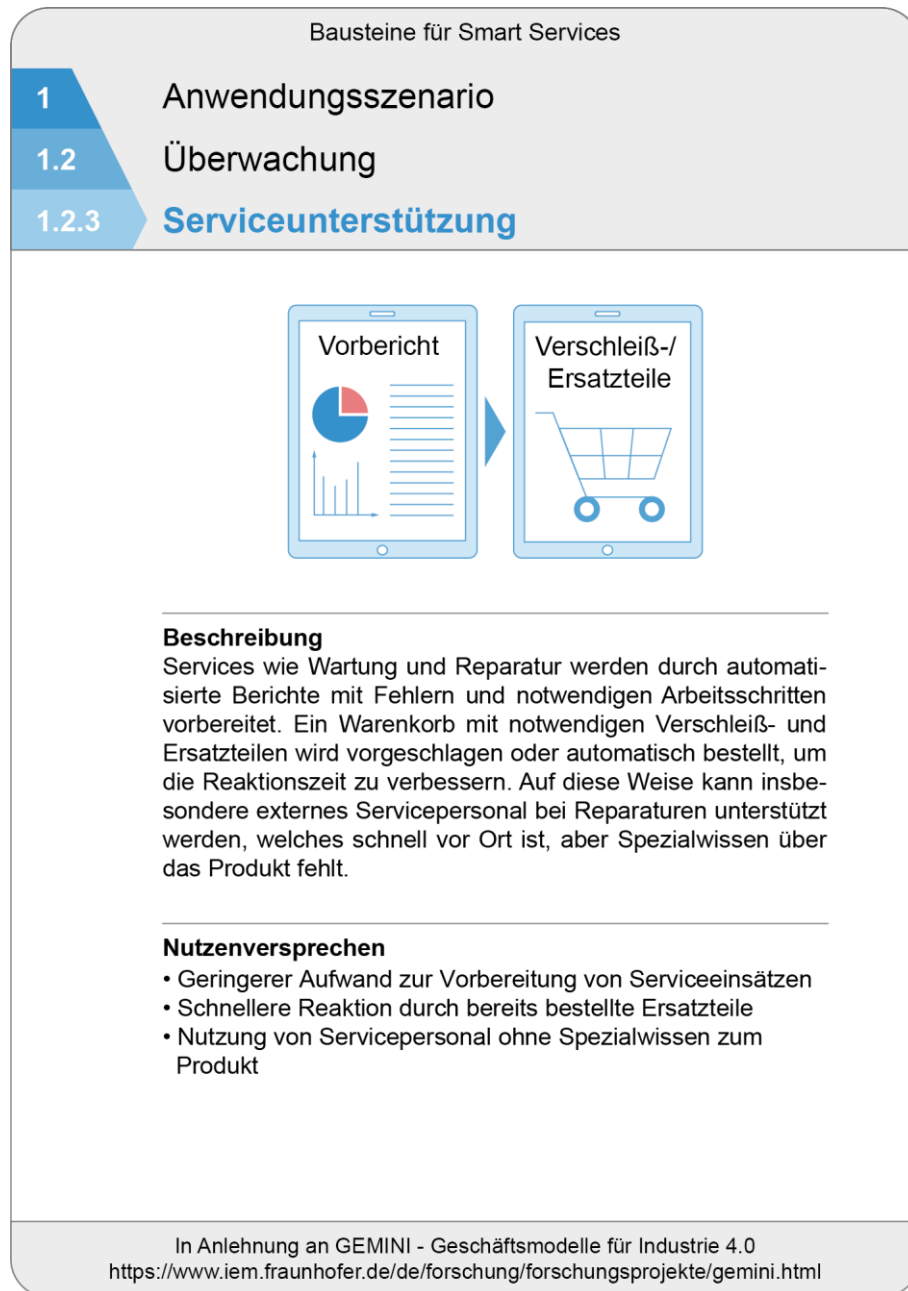


Bild A-9: Baustein 1.2.3 – Serviceunterstützung

Bausteine für Smart Services

1 Anwendungsszenario

1.3 **Betrieb**

Beinhaltete Bausteine: Updates und Upgrades, automatische Bestellung, Lebenszykluskosten

Beschreibung

Die Bausteine ermöglichen den (teilweisen) Betrieb des Produkts durch den Serviceanbieter. Updates und Upgrades werden durch die Vernetzung des Systems aus der Ferne übertragen und installiert. Updates beheben Fehler und können die Verfügbarkeit sicherstellen bzw. steigern, wohingegen Upgrades das System durch neue Funktionen erweitern. Die automatisierte Bestellung von Verbrauchs- und Betriebsmitteln vermindert das Risiko eines Ausfalls aufgrund vergessener, manueller Nachbestellungen; die Nachbestellung von Verschleiß- und Ersatzteilen beschleunigt Instandhaltungs- und Reparaturprozesse. Der Baustein Lebenszykluskosten beschreibt die Erhebung von Nutzung und erzeugtem Ergebnis des Produkts, um insbesondere andere Erlösmodelle statt dem Verkauf des Produkts zu realisieren.

In Anlehnung an GEMINI - Geschäftsmodelle für Industrie 4.0
<https://www.iem.fraunhofer.de/de/forschung/forschungsprojekte/gemini.html>


Bild A- 10: Übergeordneter Baustein 1.3 – Betrieb

Bausteine für Smart Services

1 Anwendungsszenario

1.3 Betrieb

1.3.1 Updates und Upgrades



Beschreibung
Produkte können mit regelmäßigen Updates besser und sicherer gemacht werden. Upgrades erweitern das Produkt über den gesamten Lebenszyklus mit zusätzlichen Funktionen oder Services, welche auf Basis der Nutzung individualisiert werden können. Updates und Upgrades erfolgen in der Regel durch Veränderung der Software, können aber auch eine Veränderung der Hardware umfassen.

Nutzenversprechen

- Senken von Fehler- und Sicherheitsrisiken durch Updates
- Anpassung von Produkten auf veränderte Anforderungen, insbesondere bei langlebigen Gütern

In Anlehnung an GEMINI - Geschäftsmodelle für Industrie 4.0
<https://www.iem.fraunhofer.de/de/forschung/forschungsprojekte/gemini.html>

Bild A-11: Baustein 1.3.1 – Updates und Upgrades

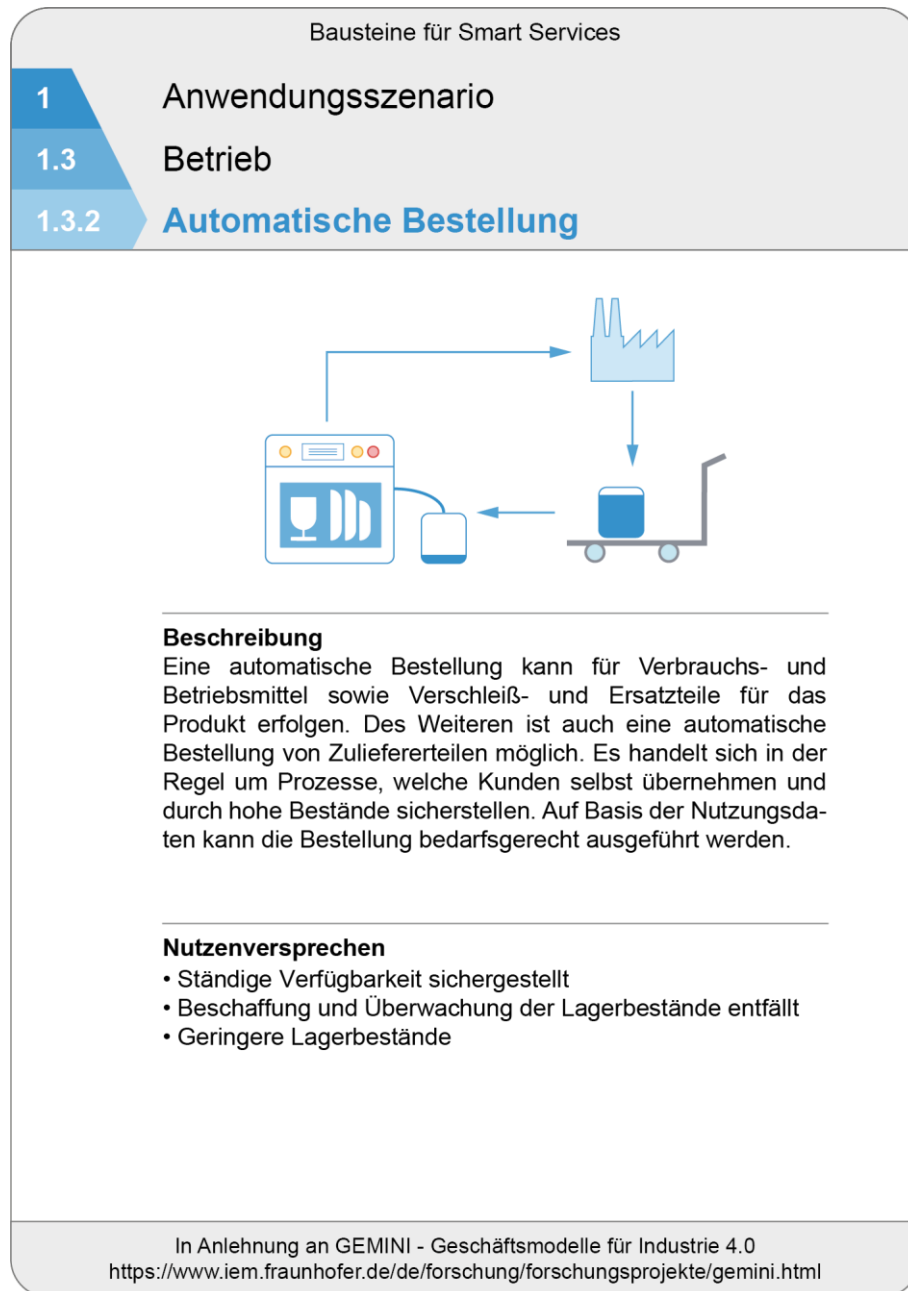


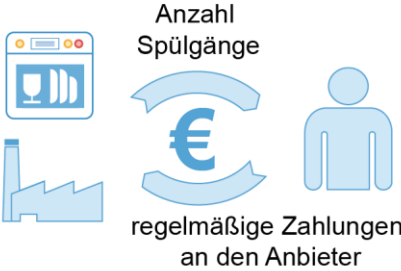
Bild A-12: Baustein 1.3.2 – Automatische Bestellung

Bausteine für Smart Services

1 Anwendungsszenario

1.3 Betrieb

1.3.3 **Lebenszykluskosten**



Anzahl Spülgänge

regelmäßige Zahlungen an den Anbieter

Beschreibung

Intensität oder Ergebnis der Nutzung des Produkts werden gemessen, um die Produktlebenszykluskosten zu berechnen. Die Nutzung kann z.B. durch Maschinenstunden, Energieverbrauch oder Werkzeugverschleiß gemessen werden. Das Ergebnis kann z.B. durch die Anzahl gefertigter Teile (Produktionsmaschine) oder gespülter Teller (Spülmaschine) gemessen werden. Die Lebenszykluskosten können genutzt werden, um die Produktnutzung durch regelmäßige Zahlungen zu verrechnen statt das Produkt zu verkaufen.

Nutzenversprechen

- Transparente Kosten-/Nutzenrechnung
- Buchung der Produktnutzung als variable Kosten

In Anlehnung an GEMINI - Geschäftsmodelle für Industrie 4.0
<https://www.iem.fraunhofer.de/de/forschung/forschungsprojekte/gemini.html>

Bild A-13: Baustein 1.3.3 – Lebenszykluskosten

Bausteine für Smart Services

1 Anwendungsszenario

1.4 **Optimierung**

Beinhaltete Bausteine: Vorausschau, Planung, automatische Einstellung

Beschreibung

Die Bausteine basieren auf der Analyse von Daten vieler, verteilter Systeme. Die erzeugten Informationen sind aufgrund der breiteren Datenbasis (z.B. verschiedene Kunden) robuster und aussagekräftiger. Die Bausteine unterscheiden sich hinsichtlich des notwendigen Inputs, dem Grad der Automatisierung und der autonomen Entscheidungen durch das System. Eine Optimierung kann auch Veränderungen an der Hardware des Produkts bedeuten, um einen optimalen Betriebspunkt zu erreichen (z.B. ein neuer, optimierter Impeller für einen Kompressor, welche auf das individuelle Nutzungsprofil eines Kunden abgestimmt ist).

In Anlehnung an GEMINI - Geschäftsmodelle für Industrie 4.0
<https://www.iem.fraunhofer.de/de/forschung/forschungsprojekte/gemini.html>

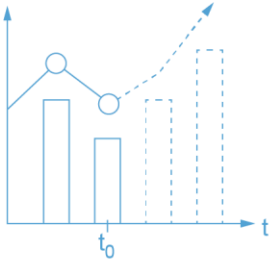
Bild A- 14: Übergeordneter Baustein 1.4 – Optimierung

Bausteine für Smart Services

1 Anwendungsszenario

1.4 Optimierung

1.4.1 **Vorausschau**



Beschreibung

Es werden unterschiedliche Prognosen für das Produkt und dessen Umfeld erstellt, wie z.B. für Zustände, Auslastung oder notwendige Wartungen. Dies ermöglicht dem Kunden eine verbesserte Planung von z.B. Kapazitäten, Ressourcen oder Wartungen. Die Nutzungseffizienz kann verbessert und ungewollte Situationen vermieden werden, wie z.B. Ausfälle oder Qualitätsprobleme.

Nutzenversprechen

- Effizientere Nutzung des Produkts
- Kostensenkung durch Vermeiden ungewollter Situationen

In Anlehnung an GEMINI - Geschäftsmodelle für Industrie 4.0
<https://www.iem.fraunhofer.de/de/forschung/forschungsprojekte/gemini.html>

Bild A-15: Baustein 1.4.1 – Vorausschau

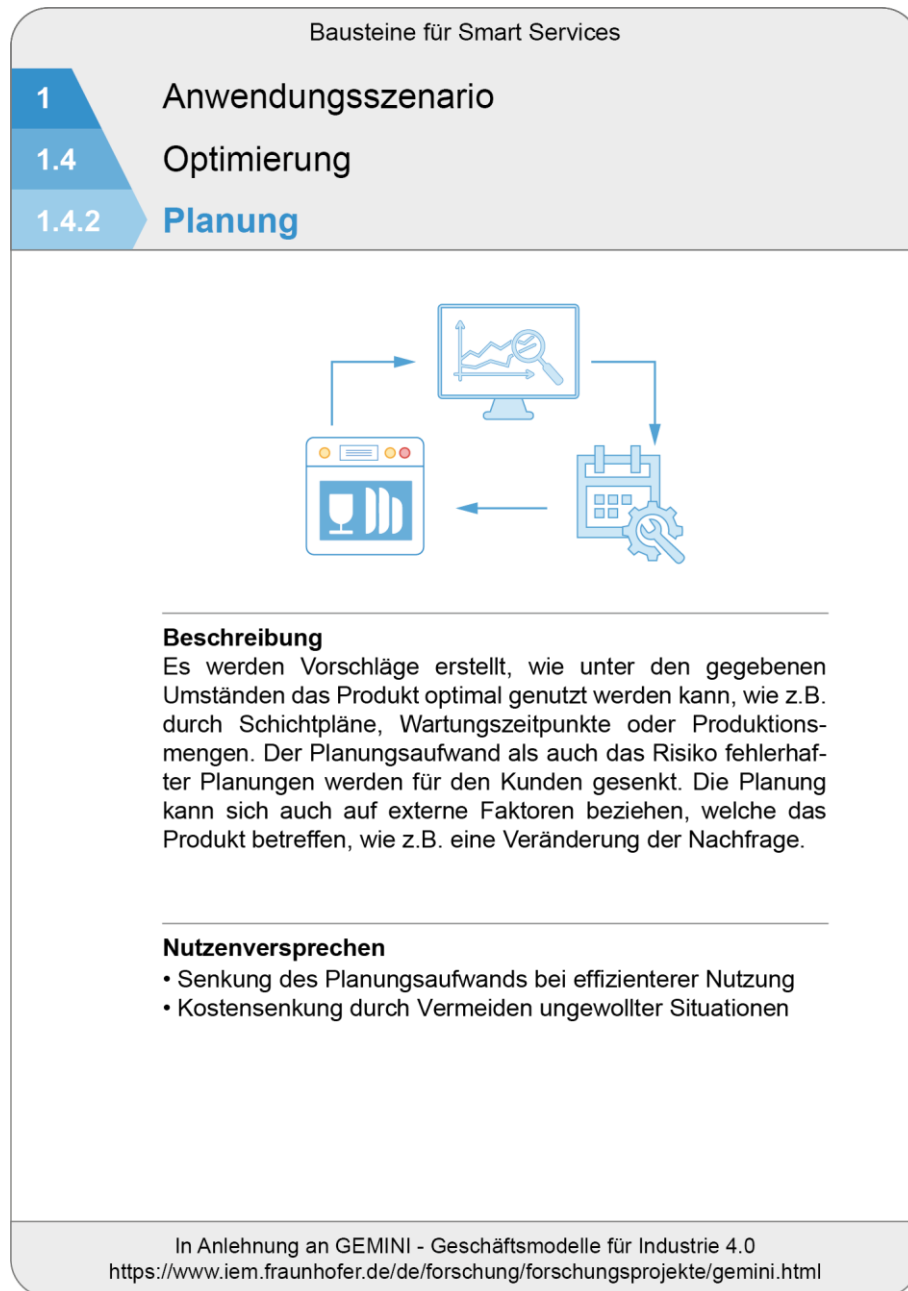


Bild A-16: Baustein 1.4.2 – Planung

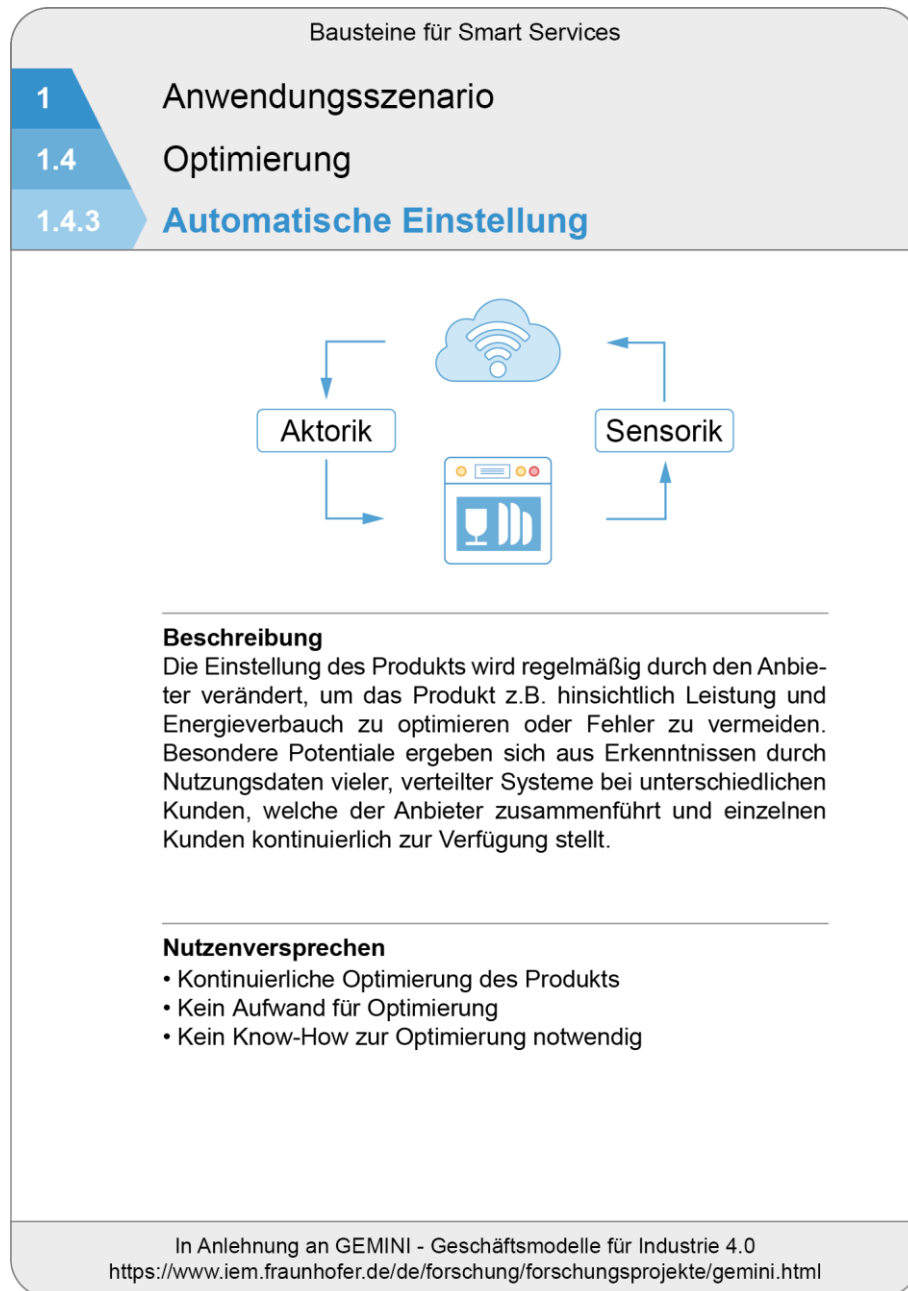


Bild A-17: Baustein 1.4.3 – Automatische Einstellung

A1.2 Erlös-konzepte

Bausteine für Smart Services

22.1

Erlös-konzepte

Indirekte Erlöse

Beinhaltete Bausteine: Value Add-on, Leverage Customer Data, Hidden Revenue

Beschreibung

Indirekte Erlöse bedeuten, dass Kunden ein Service kostenlos bereitgestellt wird und Erlöse durch andere Quellen erzeugt werden. Value Add-on eignet sich, wenn ein Service den Wert eines Produkts steigert, aber nicht in den Vordergrund rückt und vergleichsweise niedrige Kosten verursacht. Der Service wird kostenlos bereitgestellt und durch (steigende) Erlöse des Produkts finanziert. Bei Leverage Customer Data werden Daten eines Service an Dritte verkauft oder für das Angebot andere Services genutzt (z.B. Verkauf optimierter Impeller eines Kompressors auf Basis der Monitoring-Daten). Wenn Services eine Kundenschnittstelle bilden (z.B. durch eine Smartphone-App), dann kann diese Schnittstelle als Werbefläche oder Verkaufspunkt an Dritte verkauft werden und versteckte Erlöse (Hidden Revenues) erzielen.

In Anlehnung an GEMINI - Geschäftsmodelle für Industrie 4.0
<https://www.iem.fraunhofer.de/de/forschung/forschungsprojekte/gemini.html>

Bild A- 18: Übergeordneter Baustein 2.1 – Indirekte Erlöse

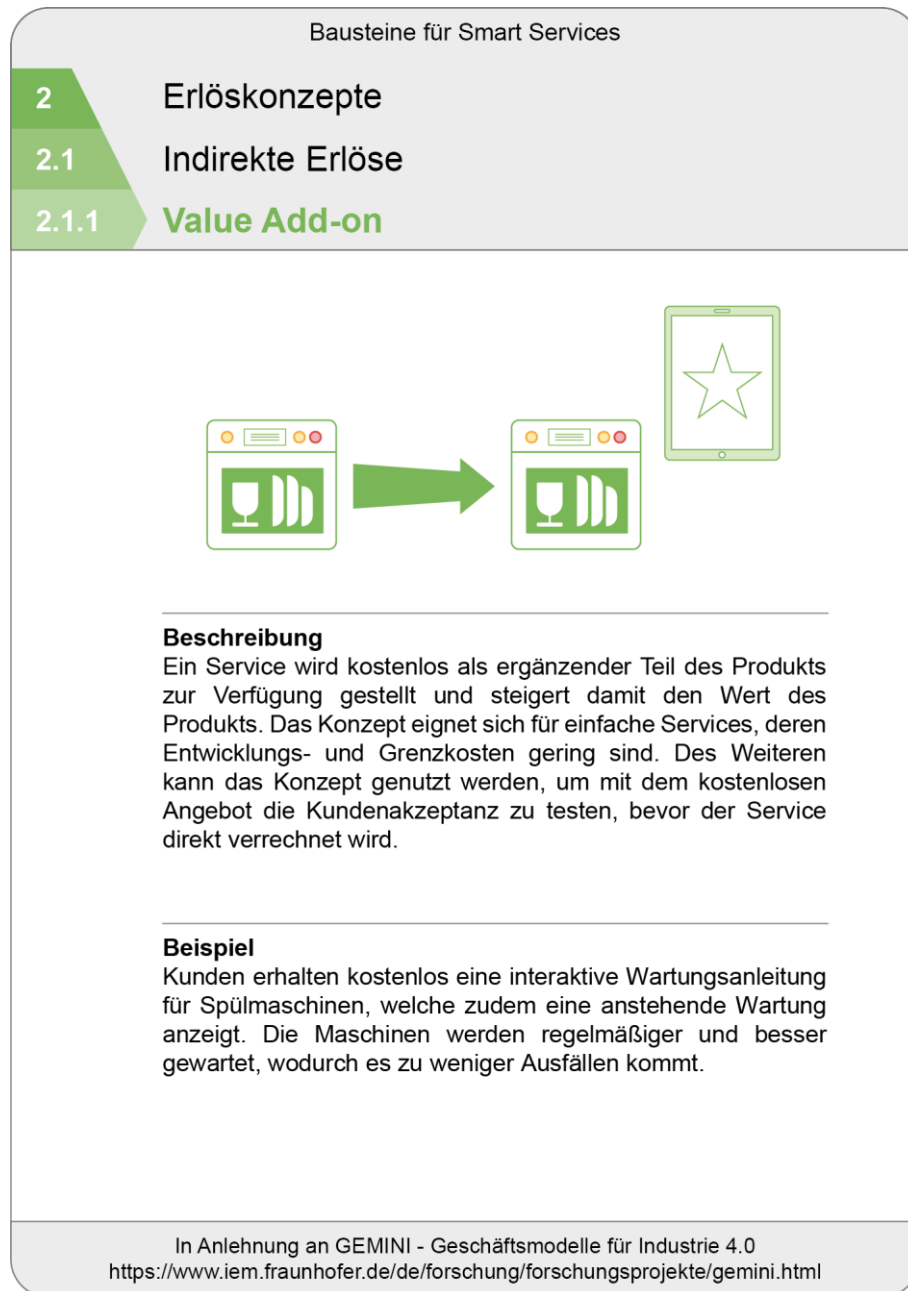



Bild A-19: Baustein 2.1.1 – Value Add-on

Bausteine für Smart Services

2 Erlöskonzepte

2.1 Indirekte Erlöse

2.1.2 **Leverage Customer Data**



Beschreibung
Die durch den Service anfallenden Daten werden weiterverarbeitet und durch den Anbieter selbst genutzt oder an Dritte verkauft. Der Kunde muss mit der Datennutzung einverstanden sein, bekommt als Gegenleistung jedoch den Service kostenlos bereitgestellt. Es können z.B. Kundenprofile erstellt werden, welche verkauft oder zur Optimierung des Produkts und neuer Angebote genutzt werden.

Beispiel
Kunden erhalten kostenlos eine Übersicht der Auslastung ihrer Kompressoren in der Produktion. Der Anbieter sieht mithilfe der Daten, wenn Optimierungspotential oder Bedarf an einem weiteren Kompressor besteht und kann dem Kunden ein individuelles Angebot machen.

In Anlehnung an GEMINI - Geschäftsmodelle für Industrie 4.0
<https://www.iem.fraunhofer.de/de/forschung/forschungsprojekte/gemini.html>

Bild A-20: Baustein 2.1.2 – Leverage Customer Data

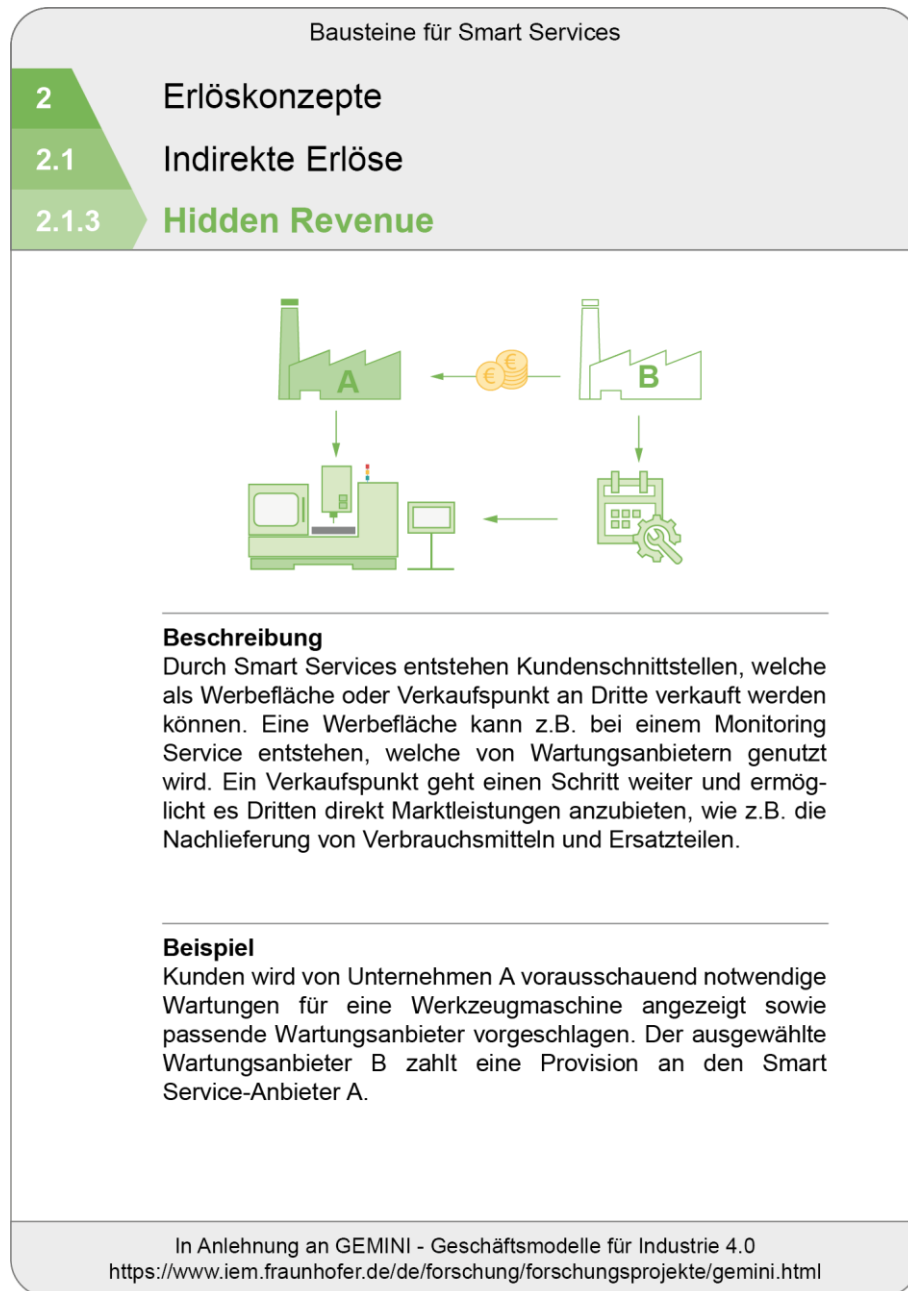


Bild A-21: Baustein 2.1.3 – Hidden Revenue

Bausteine für Smart Services

2

2.2

Erlösconzepte

Fixe, wiederkehrende Erlöse

Beinhaltete Bausteine: Flatrate, Subscription, Razor & Blade

Beschreibung

Durch Zahlung von (regelmäßigen) Pauschalbeträgen wird ein Service bereitgestellt. Bei einem Flatrate-Modell kann der Kunde einen Service in einem definierten Zeitraum unbegrenzt nutzen. Ein Subscription-Modell beschreibt den Verkauf von Paketen oder die regelmäßige, automatische Bereitstellung von Services. Das Razor & Blade-Modell erzeugt den Haupterlös durch Zusatzleistungen, welche der Kunde nachkaufen muss (z.B. Verbrauchsmittel oder Updates).

In Anlehnung an GEMINI - Geschäftsmodelle für Industrie 4.0
<https://www.iem.fraunhofer.de/de/forschung/forschungsprojekte/gemini.html>

Bild A-22: Übergeordneter Baustein 2.2 – Fixe, wiederkehrende Erlöse

Bausteine für Smart Services

2 Erlöskonzepte

2.2 Fixe, wiederkehrende Erlöse

2.2.1 **Flatrate**



Beschreibung
Durch Zahlung eines Pauschalbetrags kann der Kunde einen Service unbegrenzt für einen definierten Zeitraum nutzen. Vorteil für Kunden und Anbieter sind die Planbarkeit von Kosten bzw. Erlösen. Nachteile sind eine zu geringe Nutzung (Kundenrisiko) oder eine zu intensive und schlecht planbare Nutzung (Anbieterrisiko). Die übermäßige Nutzung wird mit geringeren Grenzkosten vernachlässigbar.

Beispiel
Kunden erhalten durch eine monatliche Zahlung Zugriff auf einen Monitoring-Service sowie regelmäßige Softwareupdates, welche unbegrenzt genutzt werden können.

In Anlehnung an GEMINI - Geschäftsmodelle für Industrie 4.0
<https://www.iem.fraunhofer.de/de/forschung/forschungsprojekte/gemini.html>

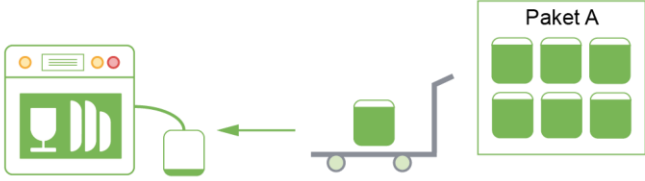
Bild A-23: Baustein 2.2.1 – Flatrate

Bausteine für Smart Services

2 Erlöskonzepte

2.2 Fixe, wiederkehrende Erlöse

2.2.2 **Subscription**



Beschreibung
Der Kunde verpflichtet sich zu einer regelmäßigen Nutzung des Service. Zum einen können Pakete verkauft werden, welche nur für einen bestimmten Zeitraum gültig sein können. Zum anderen können automatische Bereitstellungen erfolgen, wie z.B. einmal pro Monat. Der Kunde profitiert durch Preisnachlässe, wenn mit steigender Paketgröße bzw. Laufzeit die Preise pro Einheit sinken.

Beispiel
Kunden erhalten eine automatische, bedarfsgerechte Nachlieferung von Reinigungskemie für ihre Spülmaschine. Es werden Pakete von sechs Nachlieferungen verkauft, welche ein Jahr gültig sind.

In Anlehnung an GEMINI - Geschäftsmodelle für Industrie 4.0
<https://www.iem.fraunhofer.de/de/forschung/forschungsprojekte/gemini.html>

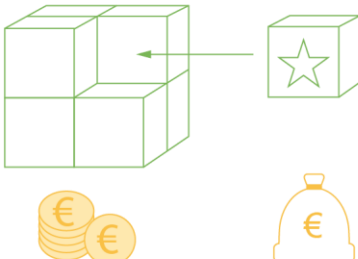
Bild A-24: Baustein 2.2.2 – Subscription

Bausteine für Smart Services

2 Erlöskonzepte

2.2 Fixe, wiederkehrende Erlöse

2.2.3 **Razor & Blade**



Beschreibung

Die Basisversion des Produkts oder eines Service wird vergünstigt angeboten und benötigt regelmäßig komplementäre, kostenpflichtige Services, wie z.B. Nachlieferung spezieller Verbrauchsmittel oder notwendige Updates. Der Anbieter kann den Kunden stärker binden, wenn die Nutzung von Services Dritter vertraglich oder technisch unterbunden wird (Lock-in Effekt).

Beispiel

Kunden erhalten eine vorausschauende Wartungsplanung zu einem vergünstigten Preis. Im Falle einer Wartung werden notwendige Ersatzteile automatisch geliefert und müssen extra bezahlt werden.

In Anlehnung an GEMINI - Geschäftsmodelle für Industrie 4.0
<https://www.iem.fraunhofer.de/de/forschung/forschungsprojekte/gemini.html>

Bild A-25: Baustein 2.2.3 – Razor & Blade

Bausteine für Smart Services

2

2.3

Erlös-konzepte

Nutzungsabhängige Erlöse

Beinhaltete Bausteine: Freemium, Pay-per-use, Pay-per-performance

Beschreibung

Es entstehen nur Erlöse, wenn der Kunde Services nutzt bzw. das Ergebnis dem Nutzenversprechen entspricht. Bei einem Freemium-Modell werden Erlöse nur bei Nutzung von Premium-Services generiert; eine Basisversion ist kostenlos und muss den Kunden überzeugen. Ein Pay-per-use-Modell beschreibt die Abrechnung nach Intensität der Nutzung, wodurch hohe Erlöse bei intensiver Nutzung, geringen Erlösen bei wenig Nutzung gegenüberstehen. Bei einem Pay-per-performance-Modell erfolgen Zahlungen nur bei erfolgreicher Ausführung, welche anhand individueller, vereinbarter Ergebnisgrößen bewertet wird.

In Anlehnung an GEMINI - Geschäftsmodelle für Industrie 4.0
<https://www.iem.fraunhofer.de/de/forschung/forschungsprojekte/gemini.html>





Bild A-26: Übergeordneter Baustein 2.3 – Fixe, wiederkehrende Erlöse

Bausteine für Smart Services

2 Erlöskonzepte

2.3 Nutzungsabhängige Erlöse

2.3.1 **Freemium**



Beschreibung
Die Basisversion eines Service wird kostenlos angeboten und durch kostenpflichtige Zusatzleistungen erweitert. Der Kunde kann den Service in der Basisversion testen und sich vom Nutzen überzeugen, bevor kostenpflichtigen Leistungen in Anspruch genommen werden. Der Anbieter kann Kunden überzeugen den Service zu testen, insbesondere wenn der Nutzen für den Kunden nicht klar ist, da Erfahrungswerte fehlen.

Beispiel
Ein Monitoring-Service für ein Produkt wird kostenlos bereitgestellt. Zusatzfunktionen, wie z.B. Hinweise und Warnungen auf mobilen Geräten müssen gegen eine Gebühr freigeschaltet werden.

In Anlehnung an GEMINI - Geschäftsmodelle für Industrie 4.0
<https://www.iem.fraunhofer.de/de/forschung/forschungsprojekte/gemini.html>

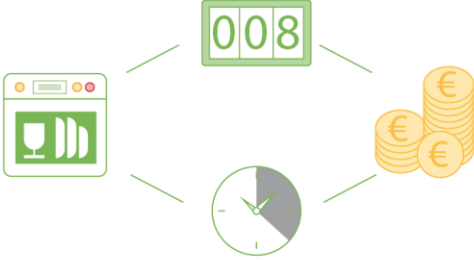
Bild A-27: Baustein 2.3.1 Freemium

Bausteine für Smart Services

2 Erlöskonzepte

2.3 Nutzungsabhängige Erlöse

2.3.2 **Pay-per-use**



Beschreibung
Die Nutzung eines Service wird auf Basis von Leistungs- oder Zeiteinheiten verrechnet, wie z.B. pro gefahrenem Kilometer oder pro genutzter Stunde. Der Kunde zahlt somit nur bei Nutzung des Service, sofern keine Mindestabnahmemenge besteht. Das Erlöskonzept ist insbesondere sinnvoll, wenn die Nutzung eines Produkts als Service angeboten wird.

Beispiel
Kunden bekommen für eine Spülmaschine automatisch und bedarfsgerecht Verbrauchsmittel geliefert und zahlen pro durchgeführtem Spülgang.

In Anlehnung an GEMINI - Geschäftsmodelle für Industrie 4.0
<https://www.iem.fraunhofer.de/de/forschung/forschungsprojekte/gemini.html>


Bild A-28: Baustein 2.3.2 Pay-per-use

Bausteine für Smart Services

2 Erlöskonzepte

2.3 Nutzungsabhängige Erlöse

2.3.3 **Pay-per-performance**



Beschreibung
Die erbrachte Leistung wird auf Basis einer definierten Ergebnisgröße verrechnet, wie z.B. relative Energieeinsparung oder unterbrechungsfreier Betrieb eines Produkts. Der Kunde zahlt nur bei erbrachter Leistung, wodurch der Anbieter sein Nutzenversprechen einlösen muss. Das Erlöskonzept kann die Zahlungsbereitschaft für Services erhöhen, bei denen Kunden Erfahrungswerte bezüglich des Nutzens fehlt.

Beispiel
Kunden erhalten eine kontinuierliche Optimierung des Energieverbrauchs eines Kompressors und zahlen 30% der eingesparten Energie an den Serviceanbieter.

In Anlehnung an GEMINI - Geschäftsmodelle für Industrie 4.0
<https://www.iem.fraunhofer.de/de/forschung/forschungsprojekte/gemini.html>

Bild A-29: Baustein 2.3.3 Pay-per-performance

A1.3 Wirkstruktur

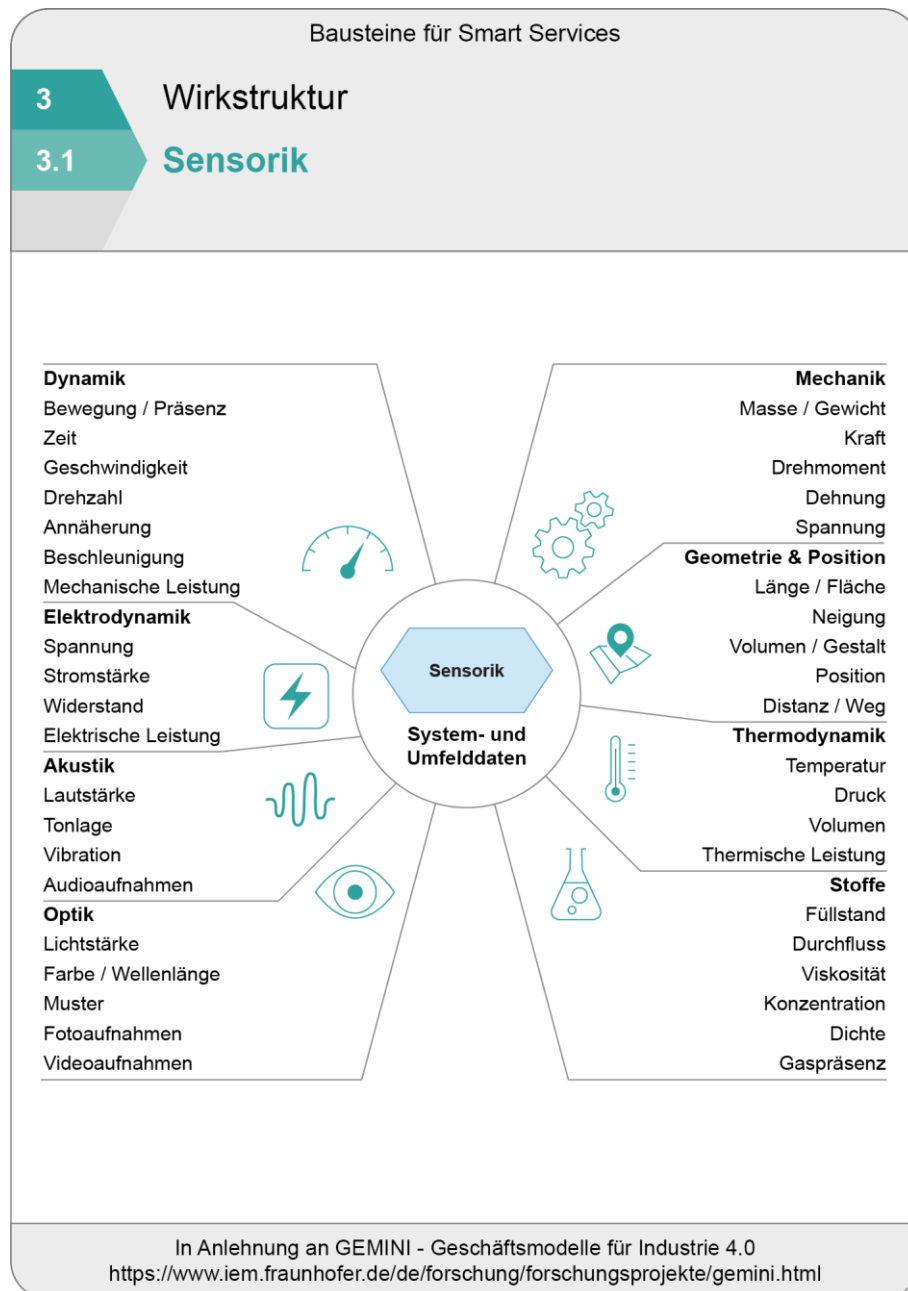


Bild A-30: Baustein 3.1 Sensorik

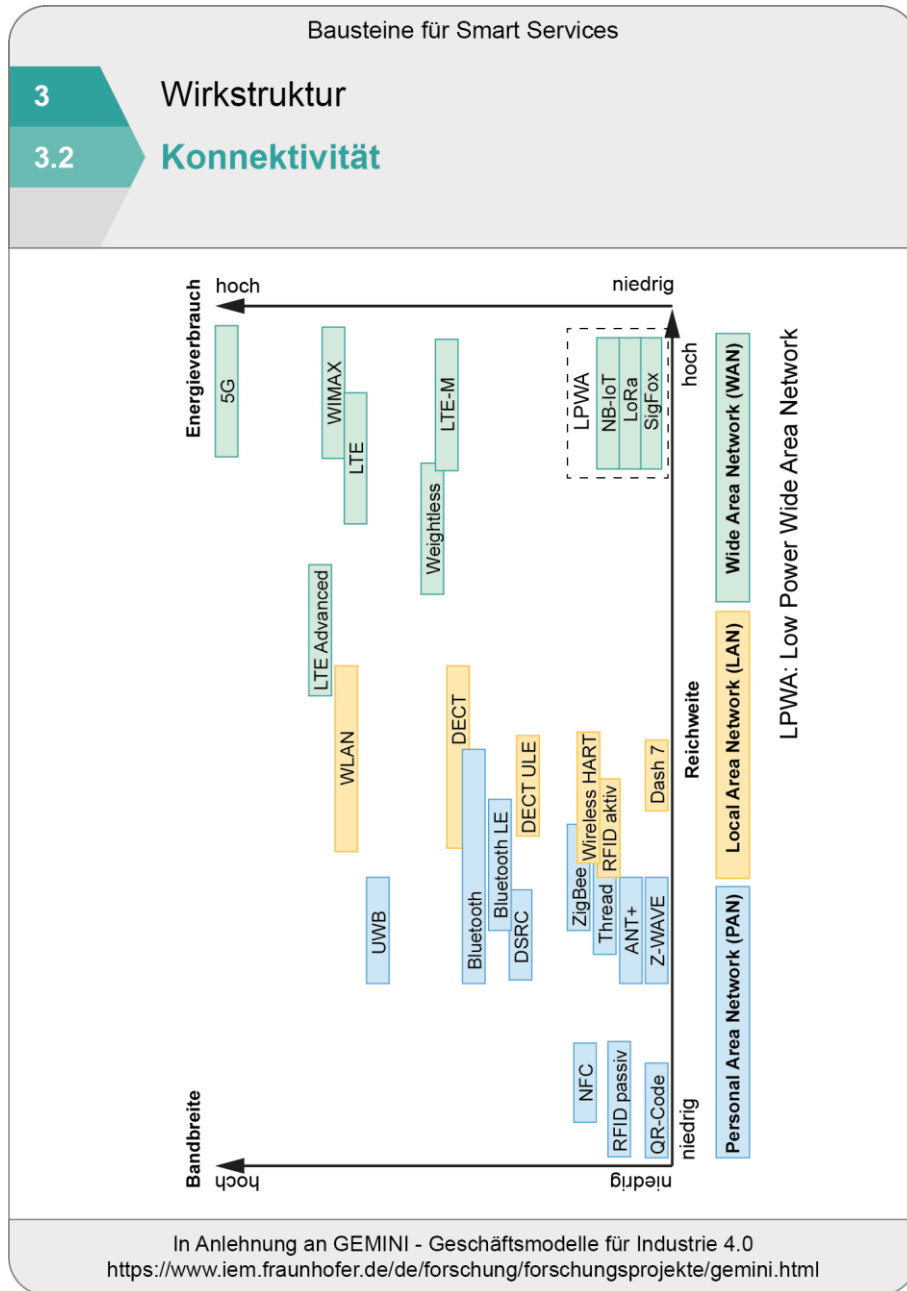


Bild A-31: Baustein 3.2 Konnektivität

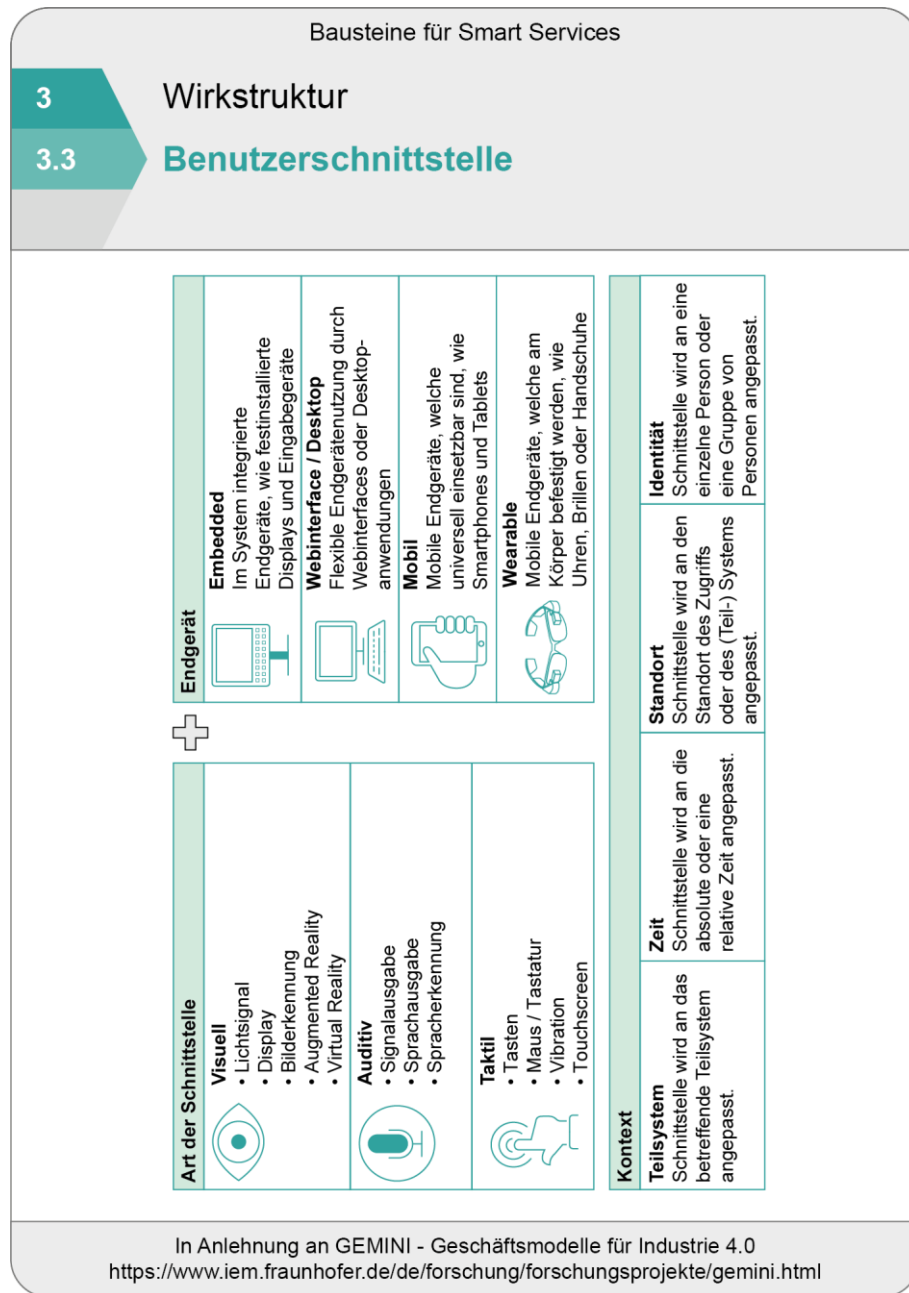


Bild A-32: Baustein 3.3 Benutzerschnittstelle

A1.4 Datenanalyse

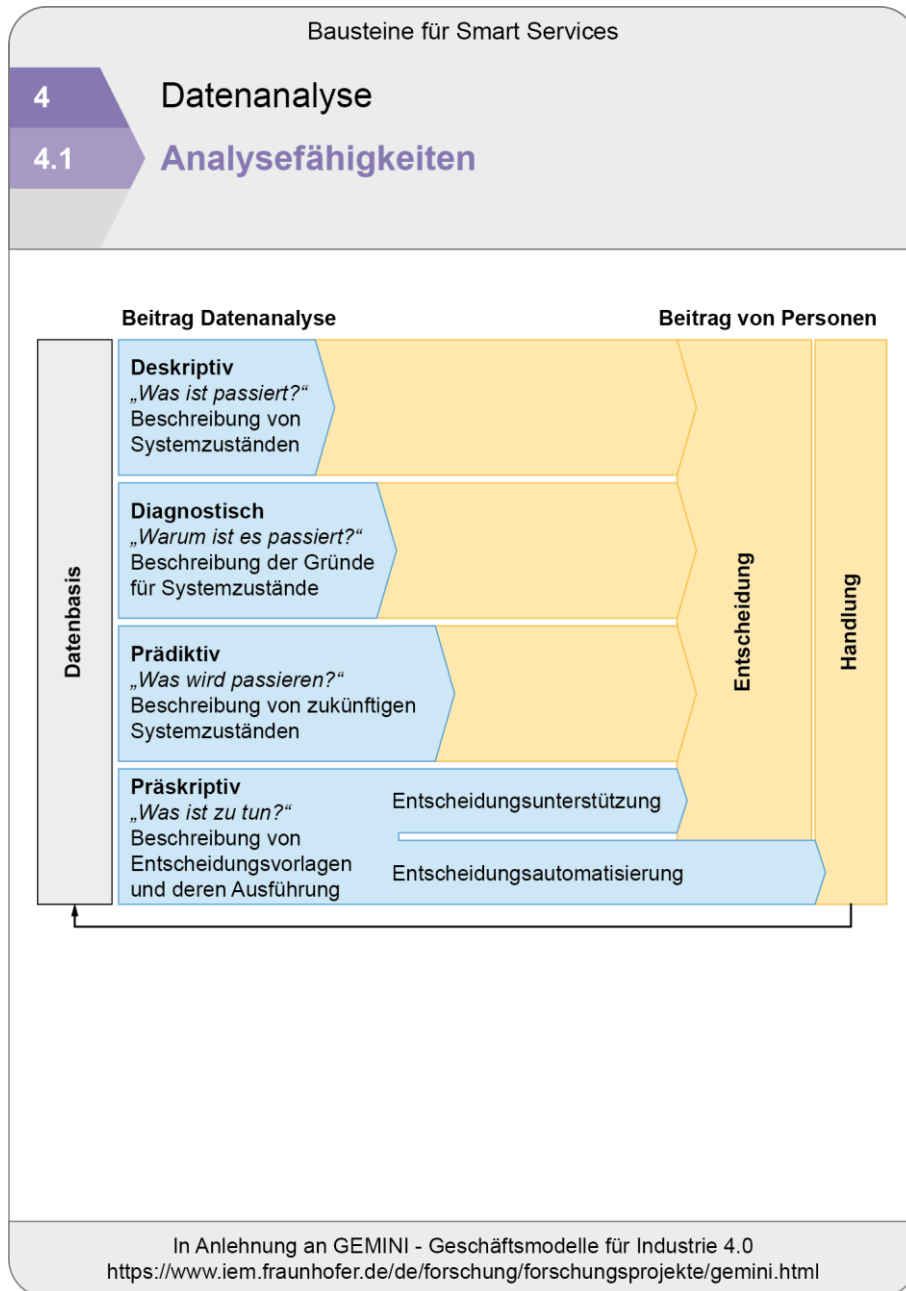


Bild A-33: Baustein 4.1 Analysefähigkeiten

Bausteine für Smart Services

4 Datenanalyse

4.2 Dateninfrastruktur

Embedded
Die Datenverarbeitung erfolgt innerhalb der Steuerung des Produkts, d.h. es handelt sich um eine dezentrale Infrastruktur. Eine eingebettete, dezentrale Infrastruktur bietet den Vorteil der Nutzung bestehender Steuerungen und den Wegfall der Datenübertragung an zentrale IT-Systeme.

Gateway
Gateways ermöglichen eine Daten-Vorverarbeitung und die Nutzung von zwei Datenübertragungstechnologien. Die Vorverarbeitung ermöglicht eine Reduzierung der Datenmengen vor Weiterleitung an zentrale IT-Infrastrukturen. Wenn Platzbedarf, Energieverbrauch und Kosten eine direkte Vernetzung mit dem Internet verhindert, können mehrere Produkte erst mit einem Gateway verbunden werden, welches die Daten dann über das Internet an zentrale IT-Plattformen weiterleitet.

Zentrale IT-Plattformen
Zentrale IT-Plattformen sind leistungstärker und können Daten vieler, verteilter Systeme verarbeiten und mit Daten weiterer Quellen (z.B. Wetterdaten) zusammenführen. Des Weiteren kann der Zugriff global und mobiler erfolgen.

In Anlehnung an GEMINI - Geschäftsmodelle für Industrie 4.0
<https://www.iem.fraunhofer.de/de/forschung/forschungsprojekte/gemini.html>

Bild A-34: Baustein 4.2 Dateninfrastruktur

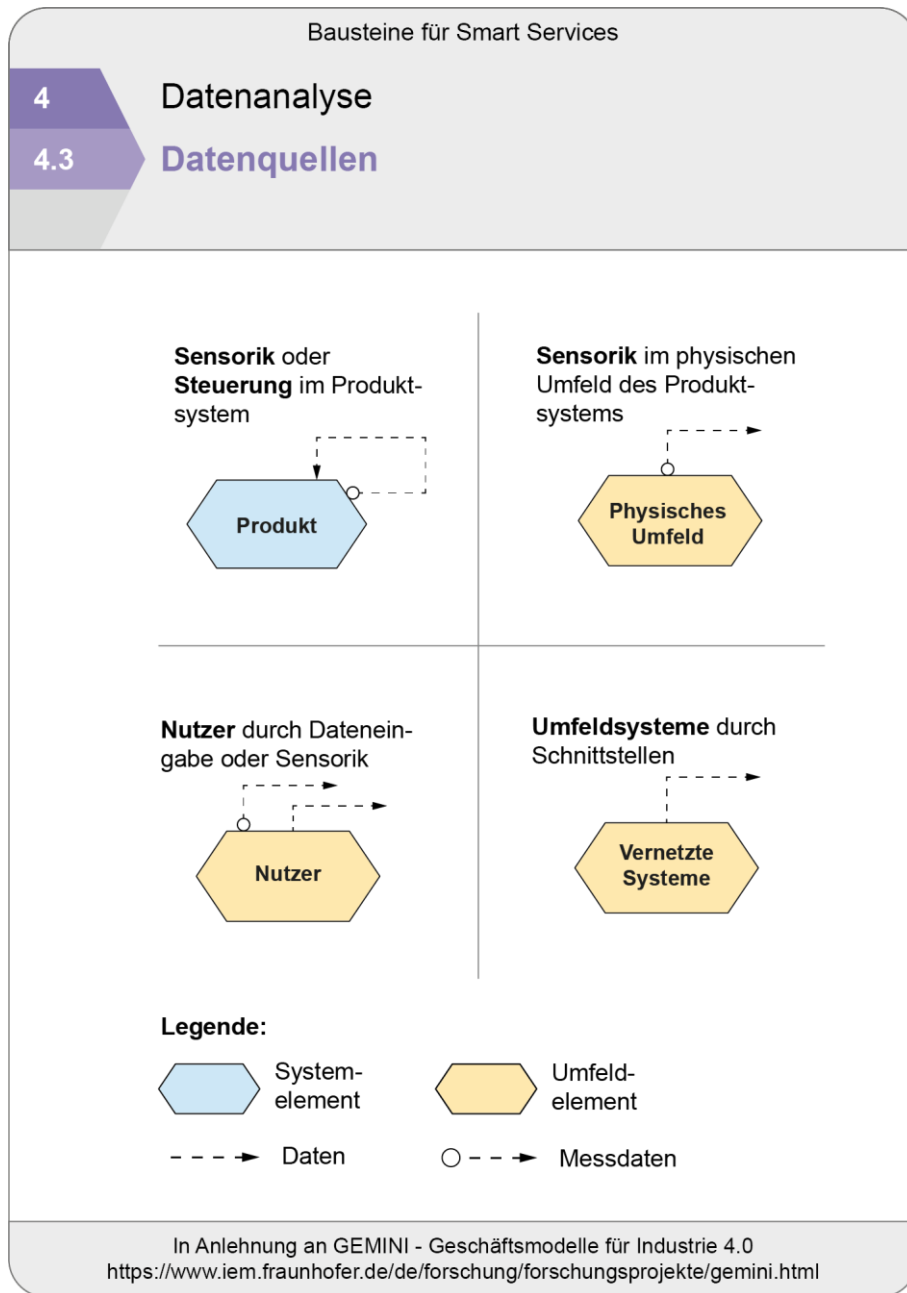


Bild A-35: Baustein 4.3 Datenquellen

A2 Verträglichkeitsmatrix

A2.1 Vertikale Sicht

Verträglichkeitsmatrix			Anwendungsszenarien												
			Referenzbausteine	Digitale Beratung	Anleitung und Self-Service	Serviceunterstützung	Monitoring	Hinweis / Warnung	Fernzugriff	Updates / Upgrades	Autom. Bestellung	Lebenszykluskosten	Vorausschau	Planung	Autom. Manipulation
Referenzbausteine			Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Erlös-konzepte	Indirekte Erlöse	Value Add-on	13	3	3	2	2	1	2	1	1	1	1	1	1
		Leverage Customer Data	14	1	1	1	3	2	1	1	1	1	3	3	1
		Hidden Revenue	15	1	3	1	2	1	3	1	3	1	1	2	1
	Fixe, wiederkehrende Erlöse	Flatrate	16	3	3	3	2	3	2	2	1	3	1	1	1
		Subscription	17	2	1	2	3	1	2	3	3	3	2	1	3
		Razor & Blade	18	1	3	1	2	3	3	3	3	1	1	2	2
	Nutzungs-abhängige Erlöse	Freemium	19	3	3	3	3	3	3	3	2	1	2	3	2
		Pay-per-use	20	1	1	1	2	1	1	2	3	3	2	3	3
		Pay-per-performance	21	1	1	1	1	1	1	1	1	3	3	3	3
Wirkstruktur	Sensorik	Nutzung von Sensordaten	22	2	2	1	3	3	3	1	3	3	3	3	3
	Konnektivität	Vernetzung des Systems	23	2	2	3	3	2	2	3	3	3	2	2	2
	Nuterschnittstelle	Eingabeschnittstelle	24	3	3	3	2	2	3	2	2	2	2	2	2
		Ausgabeschnittstelle	25	3	3	3	3	3	3	2	2	2	3	3	3
	Endgeräte für Serviceerbringung	Embedded	26	1	3	1	2	3	3	3	2	1	2	2	2
		Webinterface / Desktop	27	3	1	3	3	1	2	3	3	3	3	3	3
		Mobil	28	2	3	3	3	3	3	3	3	2	2	2	3
		Wearable	29	3	3	3	3	3	3	1	1	1	1	1	1
	Kontext der Nutzer-schnittstelle	Teilsystem	30	3	3	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2
		Zeit	31	3	3	2	2	3	2	2	2	2	2	2	2
		Standort	32	3	3	2	3	2	3	2	2	2	2	2	2
		Identität	33	3	2	3	3	3	2	2	2	3	2	2	2
Datenanalyse	Analysefähigkeiten	Deskriptiv	34	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
		Diagnostisch	35	1	1	2	3	1	3	2	2	2	2	3	3
		Prädiktiv	36	1	1	1	1	1	2	1	3	2	3	3	3
		Preskriptiv	37	1	1	1	1	1	2	1	3	2	2	3	3
	Dateninfrastruktur	Embedded	38	1	3	1	2	3	3	1	3	1	2	2	3
		Edge / Gateway	39	1	1	1	3	1	1	1	2	1	3	3	3
		Zentrale IT-Plattform	40	3	3	3	3	2	2	3	3	3	3	3	2
	Datenquellen	Systemdaten	41	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
		Nutzerdaten	42	3	3	1	3	2	3	3	3	2	3	3	3
		Umfeldaten	43	2	1	3	3	3	2	3	2	1	3	3	3

Bild A-1 Verträglichkeitsmatrix in der vertikalen Sicht

A2.2 Horizontale Sicht

Verträglichkeitsmatrix		Erlös-konzepte												Wirkstruktur												Datenanalyse											
		Nr.	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43				
Anwendungsszenarien	Referenzbausteine	Nr.	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43				
	Digitale Beratung	1	3	1	1	3	2	1	3	1	1	2	2	3	3	1	3	2	3	3	3	3	2	1	1	1	1	1	1	3	2	3	2				
	Anleitung / Self-Service	2	3	1	3	3	1	3	3	1	1	2	2	3	3	3	1	3	3	3	3	3	2	2	1	1	1	3	1	3	3	3	1				
	Fernzugriff	3	2	1	1	3	2	1	3	1	1	1	3	3	3	1	3	3	3	3	2	3	2	3	2	1	1	1	1	3	3	1	3				
	Monitoring	4	2	3	2	2	3	2	3	2	1	3	3	2	3	2	3	3	3	2	2	3	3	3	1	1	2	3	3	3	3	3	3				
	Hinweis / Warnung	5	1	2	1	3	1	3	3	1	1	3	2	2	3	3	3	1	3	2	3	2	3	3	1	1	1	3	1	2	3	2	3				
	Serviceunterstützung	6	2	1	3	2	2	3	3	1	1	3	2	3	3	3	2	3	3	2	2	3	2	3	3	2	2	3	1	2	3	3	2				
	Updates / Upgrades	7	1	1	1	2	3	3	3	2	1	1	3	2	2	2	3	3	3	1	2	2	2	3	2	1	1	1	1	3	3	3	3				
	Autom. Bestellung	8	1	1	3	1	3	3	2	3	1	3	3	2	2	2	2	3	3	1	2	2	2	2	2	3	3	3	2	3	3	3	2				
	Lebenszykluskosten	9	1	1	1	3	3	1	1	3	3	3	3	2	2	2	1	3	2	1	2	2	2	3	2	2	2	1	1	3	3	2	1				
	Vorausschau	10	1	3	1	1	2	1	2	1	2	3	2	3	2	3	2	3	2	1	2	2	2	2	2	3	2	2	3	3	3	3	3				
	Planung	11	1	3	2	1	1	2	3	3	3	3	2	2	3	2	2	3	2	1	2	2	2	2	3	3	3	2	3	3	3	3	3				
Autom. Manipulation	12	1	1	1	1	3	2	2	2	3	3	2	2	3	2	2	3	3	1	2	2	2	2	3	3	3	3	3	2	3	3	3					

Bild A 2: Verträglichkeitsmatrix in der horizontalen Sicht