

**Band
421**

Verlagsschriftenreihe des Heinz Nixdorf Instituts
Prof. Dr.-Ing. Roman Dumitrescu (Hrsg.)
Advanced Systems Engineering

Maurice Meyer

Systematik zur Planung und Verwertung von Betriebsdaten- Analysen in der strategischen Produktplanung

Maurice Meyer

Systematik zur Planung und Verwertung von Betriebsdaten-Analysen in der strategischen Produktplanung

Systematic approach for planning and exploiting use phase data analyses in strategic product planning

Bibliografische Information Der Deutschen Bibliothek

Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.ddb.de> abrufbar.

Band 421 der Verlagsschriftenreihe des Heinz Nixdorf Instituts

© Heinz Nixdorf Institut, Universität Paderborn – Paderborn – 2024

ISSN (Online): 2365-4422

ISBN: 978-3-947647-40-8

Das Werk einschließlich seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung der Herausgeber und des Verfassers unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigung, Übersetzungen, Mikroverfilmungen, sowie die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Als elektronische Version frei verfügbar über die Digitalen Sammlungen der Universitätsbibliothek Paderborn.

Satz und Gestaltung: Maurice Meyer

Geleitwort

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

Im Zuge der Digitalisierung werden mechatronische Produkte zunehmend zu sog. cyber-physischen Systemen. Diese verbinden dank ihrer Kommunikationssysteme die Vorgänge der physischen Realität mit digitalen Netzinfrastrukturen. Dies versetzt sie in die Lage, während ihres Betriebs umfangreiche Daten aufzunehmen und in der Cloud zu teilen. Mit Hilfe von Data-Analytics-Lösungen können diese Daten nach Auffälligkeiten und Mustern untersucht werden, z. B. in Bezug auf das Verhalten der Nutzer. Auf diese Weise gewonnene Erkenntnisse versprechen einen enormen Wert für die strategische Planung neuer Generationen der betrachteten Produkte. Für die verantwortlichen Produktmanager ist die systematische Planung und Verwertung derartiger Betriebsdaten-Analysen jedoch eine anspruchsvolle Aufgabe.

Vor diesem Hintergrund hat Herr Meyer eine Systematik zur Planung und Verwertung von Betriebsdaten-Analysen in der strategischen Produktplanung entwickelt. Die Systematik befähigt Produktmanager, die Potentiale von Betriebsdaten-Analysen in der strategischen Planung neuer Produktgenerationen zu nutzen. Die Basis der Systematik bildet ein Referenzmodell, das die Hauptaufgaben der strategischen Planung neuer Produktgenerationen und ihr initiales Zusammenwirken beschreibt. Es überführt die klassische strategische Produktplanung in den Kontext der Produktgenerationen und stellt damit einen grundsätzlichen Handlungsrahmen dar. Darauf aufbauend zeigt ein Referenzprozess, wie Betriebsdaten-Analysen im Rahmen der strategischen Produktplanung geplant, vorbereitet, durchgeführt und verwertet werden können. Für die vom Produktmanager verantworteten Hauptprozesse der Planung und Verwertung wird jeweils eine Methode bereitgestellt. Die Methode zur Planung von Betriebsdaten-Analysen beschreibt dabei, wie aus einer Produktvision systematisch Erfolg versprechende Use Cases abgeleitet werden. Abschließend zeigt die Methode zur Verwertung von Betriebsdaten-Analysen auf, wie neue Ziele und Ideen für zukünftige Produktgenerationen auf Basis von Datenanalyse-Ergebnissen gewonnen werden können. Angewendet und evaluiert wurde die Systematik mit vier Unternehmen in einem Konsortialforschungsprojekt.

Mit seiner Arbeit leistet Herr Meyer einen wesentlichen Beitrag zum Themenfeld Data-Driven Innovation and Engineering. Seine Systematik zeugt von hoher wissenschaftlicher Sorgfalt und bietet gleichzeitig dem Praktiker wichtige Orientierung, Betriebsdaten für neue Produktideen zu verwerten. Herr Meyers Arbeit bildet einen weiteren zentralen Baustein für die Paderborner Schule des Advanced Systems Engineerings.

Systematik zur Planung und Verwertung von Betriebsdaten-Analysen in der strategischen Produktplanung

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

genehmigte
DISSERTATION

von
M.Sc. Maurice Meyer
aus Lübbecke

Tag des Kolloquiums:

8. April 2024

Referent:

Prof. Dr.-Ing. Roman Dumitrescu

Korreferent:

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c. Albert Albers

Korreferent:

Prof. Dr.-Ing. Jürgen Gausemeier

Vorwort

Die vorliegende Dissertation entstand während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Fachgruppe Advanced Systems Engineering am Heinz Nixdorf Institut der Universität Paderborn. Sie ist das Ergebnis meiner wissenschaftlichen Arbeit in Forschungs- und Beratungsprojekten.

Mein besonderer Dank gilt Prof. Dr.-Ing. Roman Dumitrescu. In den vier Jahren am Heinz Nixdorf Institut habe ich stets dein Vertrauen gespürt. Die zahlreichen Gestaltungsmöglichkeiten in der Forschung wie die Weiterentwicklung unserer Forschungsmethodik haben mir viel bedeutet. Auch meine vielfältigen Aktivitäten in der Lehre wie der Aufbau und die Betreuung unserer Vorlesung sind schöne Erinnerungen. Die Zeit in deiner Fachgruppe hat wesentlich zu meiner fachlichen und persönlichen Weiterentwicklung beigetragen.

Ebenso danke ich Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c. Albert Albers für die Übernahme des Korreferats und die ausgezeichnete Zusammenarbeit im DFG-Forschungsprojekt ZuPro – Zukunftsrobuste Produktentwicklung. Die Diskussionen mit Ihnen zum Modell der SGE – Systemgenerationsentwicklung haben mich fachlich nachhaltig geprägt.

Des Weiteren möchte ich Prof. Dr.-Ing. Jürgen Gausemeier danken – für die Übernahme des weiteren Korreferats sowie die Möglichkeit, Sie in ihrer Position als acatech Vizepräsident zu unterstützen. Die spannenden Einblicke in die Politik- und Gesellschaftsberatung und die gemeinsame Erstellung der Strategie Advanced Systems Engineering im Kontext des wissenschaftlichen Begleitprojekts AdWiSE sind Highlights meiner Zeit am Heinz Nixdorf Institut.

Meinen ehemaligen Kolleginnen und Kollegen am Heinz Nixdorf Institut und am Fraunhofer IEM danke ich für die erfolgreiche Zusammenarbeit und viele unvergessliche Momente. Stellvertretend richte ich den Dank an dieser Stelle an Dr.-Ing. Marvin Drewel, Dr.-Ing. Maximilian Frank, Christoph Pierenkemper, Melina Panzner, Alexandra Dutschke und Sabine Illigen. Explizit hervorheben möchte ich Dr.-Ing. Christian Koldewey, Dr.-Ing. Jannik Reinhold, Steffen Menzefricke, Ingrid Wiederkehr und Timm Fichtler. Wir haben gemeinsam Großartiges geleistet und eine Freundschaft aufgebaut, die mir viel bedeutet! Stellvertretend für alle ehemaligen studentischen Hilfskräfte danke ich außerdem Saranya Nithiyanantharasa und Mathis Jahn für die tatkräftige Unterstützung in Forschungs- und Beratungsprojekten sowie in der Lehre.

Von ganzem Herzen danke ich darüber hinaus meinen Eltern Karin und Dirk sowie meiner Schwester Madeline. Ihr seid immer für mich da und habt mich zu dem Menschen gemacht, der ich heute bin.

Der größte Dank gilt meiner Verlobten Josy. Du hast mir in besonders stressigen Phasen den Rücken freigehalten und gleichzeitig auch immer wieder sichergestellt, dass ich abschalten und meine Kräfte neu sammeln kann. Ich kann es kaum abwarten, mit dir an meiner Seite die Zukunft zu gestalten.

Zusammenfassung

Die strategische Produktplanung entscheidet maßgeblich über den Erfolg neuer Produktgenerationen. Eine wertvolle Informationsquelle ist dabei die Betriebsphase der Vorgängergenerationen, die z. B. Schwächen des Produkts oder das Nutzerverhalten offenlegt. Bisher kommen verlässliche Daten- und Informationsrückkopplungen jedoch kaum zustande. Ein neuer Lösungsansatz für diese Problemstellung ist die Auswertung von Betriebsdaten cyber-physischer Systeme mit Data-Analytics-Lösungen. Die Planung und Verwertung derartiger Betriebsdaten-Analysen sind jedoch anspruchsvolle Aufgaben.

Ziel der Arbeit ist eine Systematik zur Planung und Verwertung von Betriebsdaten-Analysen in der strategischen Produktplanung. Sie umfasst vier Bestandteile. Der Erste ist ein Referenzmodell für die strategische Planung neuer Produktgenerationen. Dieses überführt die klassische strategische Produktplanung in den Produktgenerations-Kontext. Der Zweite ist ein Referenzprozess für die Betriebsdaten-gestützte Produktplanung. Dieser beschreibt die prozessuale Integration von Betriebsdaten-Analysen in die strategische Produktplanung. Eine Methode zur Planung und eine Methode zur Verwertung von Betriebsdaten-Analysen sind der dritte bzw. vierte Bestandteil. Adressaten der Systematik sind vor allem Produktmanager produzierender Unternehmen, die die strategische Weiterentwicklung eines Produkts verantworten. Die Systematik wurde mit vier Unternehmen angewendet und evaluiert.

Abstract

Strategic product planning is decisive for the success of new product generations. A valuable source of information is the use phase of previous generations, which reveals product weaknesses or user behavior, for example. So far, however, reliable data and information feedback is rarely achieved. A new approach to solving this problem is the evaluation of use phase data from cyber-physical systems using data analytics solutions. However, planning and exploiting use phase data analyses are challenging tasks.

The goal of this dissertation is to develop a systematic approach for planning and exploiting use phase data analyses in strategic product planning. It consists of four elements. The first is a reference model for strategic planning of new product generations. It transfers classical strategic product planning into the product generation context. The second is a reference process for use-phase-data-driven product planning. It describes the procedural integration of use phase data analyses into strategic product planning. A method for planning and a method for exploiting use phase data analyses are the third and fourth elements, respectively. The primary target group of the developed systematic approach are product managers of manufacturing companies who are responsible for the strategic evolution of a product. The systematic approach was applied and evaluated with four companies.

Vorveröffentlichungen

- [ADG+23] ALBERS, A.; DUMITRESCU, R.; GAUSEMEIER, J.; LINDOW, K.; RIEDEL, O.; STARK, R. (Hrsg.); MEYER, M.; STEGLICH, S.: Strategie Advanced Systems Engineering – Leitinitiative zur Zukunft des Engineering- und Innovationsstandorts Deutschland, München, 2022
- [DAG+21] DUMITRESCU, R.; ANACKER, H.; GROTE, E.-M.; RASOR, R.; TEKAAT, J.; MEYER, M.; GAUSEMEIER, J.; STEGLICH, S.: Erfolgspotentiale für die Zukunft des Engineeringstandorts Deutschland – Ein Beitrag zum Advanced Systems Engineering. In: GAUSEMEIER, J.; BAUER, W.; DUMITRESCU, R. (Hrsg.): 16. Symposium für Vorausschau und Technologieplanung. 2. und 3. Dezember 2021, Berlin, Band 400, 2021, S. 11–29
- [DKM23] DUMITRESCU, R.; KOLDEWEY, C.; MEYER, M.: Resümee und Ausblick. In: DUMITRESCU, R.; KOLDEWEY, C. (Hrsg.): Datengestützte Produktplanung – Mit Betriebsdaten und Data Analytics zur faktenbasierten Planung zukünftiger Produktgenerationen im produzierenden Gewerbe. Verlagsschriftenreihe des Heinz Nixdorf Instituts, Band 408, Paderborn, 2023, S. 139–140
- [HWL+24] HEMMRICH, S., WORTMANN, F.; LÜTTENBERG, H.; GRADERT, T.; KÄMMERLING, S.; MEYER, M.; SCHOLTISYK, M.: Grundlagen. In: BEVERUNGEN, D., DUMITRESCU, R., KÜHN, A., PLASS, C. (Hrsg.): Digitale Plattformen im industriellen Mittelstand. Intelligente Technische Systeme – Lösungen aus dem Spitzencluster it's OWL. Springer Vieweg, Berlin, Heidelberg, 2024, S. 11–49
- [KDM23] KOLDEWEY, C.; DUMITRESCU, R.; MEYER, M.: Einführung. In: DUMITRESCU, R.; KOLDEWEY, C. (Hrsg.): Datengestützte Produktplanung – Mit Betriebsdaten und Data Analytics zur faktenbasierten Planung zukünftiger Produktgenerationen im produzierenden Gewerbe. Verlagsschriftenreihe des Heinz Nixdorf Instituts, Band 408, Paderborn, 2023, S. 1–10
- [KGW+24] KÄMMERLING, S.; GRADERT, T.; WORTMANN, F.; HEMMRICH, S., LÜTTENBERG, H.; MEYER, M.; SCHOLTISYK, M.: Digitale Plattformen – Strategien und Methoden. In: BEVERUNGEN, D., DUMITRESCU, R., KÜHN, A., PLASS, C. (Hrsg.): Digitale Plattformen im industriellen Mittelstand. Intelligente Technische Systeme – Lösungen aus dem Spitzencluster it's OWL. Springer Vieweg, Berlin, Heidelberg, 2024, S. 51–91
- [KMS+20] KOLDEWEY, C.; MEYER, M.; STOCKBRÜGGER, P.; DUMITRESCU, R.; GAUSEMEIER, J.: Framework and Functionality Patterns for Smart Service Innovation. *Procedia CIRP*, (91), 2020, S. 851–857
- [MFK+22a] MEYER, M.; FICHTLER, T.; KOLDEWEY, C.; DUMITRESCU, R.: How can Data Analytics Results be Exploited in the Early Phase of Product Development? 13 Design Principles for Data-Driven Product Planning: *AMCIS 2022 Proceedings*, 2022, S. 1–10
- [MFK+22b] MEYER, M.; FICHTLER, T.; KOLDEWEY, C.; DUMITRESCU, R.: Potentials and challenges of analyzing use phase data in product planning of manufacturing companies. *Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing*, (36)e14, 2022, S. 1–13
- [MFM+20a] MEYER, M.; FRANK, M.; MASSMANN, M.; DUMITRESCU, R.: Research and Consulting in Data-Driven Strategic Product Planning. *Journal of Systemics, Cybernetics and Informatics*, (18)2, 2020, S. 55–61
- [MFM+20b] MEYER, M.; FRANK, M.; MASSMANN, M.; DUMITRESCU, R.: Research and Consulting in Data-Driven Strategic Product Planning. *Proceedings of The 11th International Multi-Conference on Complexity, Informatics and Cybernetics (IMCIC 2020)*, 2020, S. 162–167
- [MFM+20c] MEYER, M.; FRANK, M.; MASSMANN, M.; WENDT, N.; DUMITRESCU, R.: Data-Driven Product Generation and Retrofit Planning. *Procedia CIRP*, (93), 2020, S. 965–970
- [MHK+21] MEYER, M.; HEMKENTOKRAX, J.-P.; KOLDEWEY, C.; DUMITRESCU, R.; TRÖSTER, P. M.; SCHLEGEL, M.; KLING, C. L.; RAPP, S.; ALBERS, A.: Zukunftsrobuste Weiterentwicklung von Produktportfolios: Erkenntnisse und Handlungsbedarfe aus der Praxis. In: GAUSEMEIER, J.; BAUER, W.; DUMITRESCU, R. (Hrsg.): 16. Symposium für Vorausschau und Technologieplanung. 2. und 3. Dezember 2021, Berlin, Band 400, 2021, S. 449–470
- [MHS+24] MEYER, M.; HEMKENTOKRAX, J.-P.; SCHLEGEL, M.; KOLDEWEY, C.; TRÖSTER, P. M.; RAPP, S.; ALBERS, A.; DUMITRESCU, R.: How Do Product Portfolios Evolve Holistically? Insights From Large Manufacturing Companies. *IEEE TEMS*, 2024, eingereicht, under review

- [MKD24] MEYER, M.; KOLDEWEY, C.; DUMITRESCU, R.: Weaving Strategic Threads Across Product Generations: A Theory And A Reference Model. *Design Science*, 2024, eingereicht, under review
- [MMD+19] MASSMANN, M.; MEYER, M.; DUMITRESCU, R.; ENZBERG, S. von; FRANK, M.; KOLDEWEY, C.; KÜHN, A.; REINHOLD, J.: Significance and Challenges of Data-driven Product Generation and Retrofit Planning. *Procedia CIRP*, (84), 2019, S. 992–997
- [MMF+20a] MASSMANN, M.; MEYER, M.; FRANK, M.; ENZBERG, S. von; KÜHN, A.; DUMITRESCU, R.: Framework for Data Analytics in Data-Driven Product Planning. *Procedia Manufacturing*, (52), 2020, S. 350–355
- [MMF+20b] MASSMANN, M.; MEYER, M.; FRANK, M.; ENZBERG, S. von; KÜHN, A.; DUMITRESCU, R.: Method for data inventory and classification. *Procedia CIRP*, (93), 2020, S. 234–239
- [MPK+21] MEYER, M.; PANZNER, M.; KOLDEWEY, C.; DUMITRESCU, R.: Towards Identifying Data Analytics Use Cases in Product Planning. *Procedia CIRP*, (104), 2021, S. 1179–1184
- [MPK+22] MEYER, M.; PANZNER, M.; KOLDEWEY, C.; DUMITRESCU, R.: 17 Use Cases for Analyzing Use Phase Data in Product Planning of Manufacturing Companies. *Procedia CIRP*, (107), 2022, S. 1053–1058
- [MPW+23a] MEYER, M.; PANZNER, M.; WIEDERKEHR, I.; FICHTLER, T.: Produktplanung auf Basis von Betriebsdaten. In: DUMITRESCU, R.; KOLDEWEY, C. (Hrsg.): *Datengestützte Produktplanung – Mit Betriebsdaten und Data Analytics zur faktenbasierten Planung zukünftiger Produktgenerationen im produzierenden Gewerbe*. Verlagsschriftenreihe des Heinz Nixdorf Instituts, Band 408, Paderborn, 2023, S. 11–27
- [MPW+23b] MEYER, M.; PANZNER, M.; WIEDERKEHR, I.; FICHTLER, T.: Tipps für den Transfer in die Praxis. In: DUMITRESCU, R.; KOLDEWEY, C. (Hrsg.): *Datengestützte Produktplanung – Mit Betriebsdaten und Data Analytics zur faktenbasierten Planung zukünftiger Produktgenerationen im produzierenden Gewerbe*. Verlagsschriftenreihe des Heinz Nixdorf Instituts, Band 408, Paderborn, 2023, S. 137–138
- [MPW+23c] MEYER, M.; PANZNER, M.; WIEDERKEHR, I.; FICHTLER, T.; PANICK, D.: Referenzprozess für die Betriebsdaten-gestützte Produktplanung. In: DUMITRESCU, R.; KOLDEWEY, C. (Hrsg.): *Datengestützte Produktplanung – Mit Betriebsdaten und Data Analytics zur faktenbasierten Planung zukünftiger Produktgenerationen im produzierenden Gewerbe*. Verlagsschriftenreihe des Heinz Nixdorf Instituts, Band 408, Paderborn, 2023, S. 29–77
- [MWK+21] MEYER, M.; WIEDERKEHR, I.; KOLDEWEY, C.; DUMITRESCU, R.: Understanding Usage Data-Driven Product Planning: A Systematic Literature Review: Proceedings of the International Conference on Engineering Design (ICED21). 16-20 August 2021, Gothenburg, Sweden, 2021, S. 3289–3298
- [MWP+22] MEYER, M.; WIEDERKEHR, I.; PANZNER, M.; KOLDEWEY, C.; DUMITRESCU, R.: A Reference Process Model for Usage Data-Driven Product Planning: Proceedings of the 55th Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS). 3-8 January 2022, Hawaii, USA, 2022, S. 6105–6114
- [PME+22] Panzner, M.; Meyer, M.; Enzberg, S. von; Dumitrescu, R.: Business-to-Analytics Canvas - Translation of Product Planning-Related Business Use Cases into Concrete Data Analytics Tasks. *Procedia CIRP*, (109), 2022, S. 580–585
- [UDP+20] UHLMANN, E.; DUMITRESCU, R.; POLTE, J.; MEYER, M.; SIMSEK, D.: Datengetriebene Steigerung der Verfügbarkeit. *wt Werkstattstechnik online*, (110)07-08, 2020, S. 532–535
- [WIM23] WIEDERKEHR, I.; ISENBERG, L.; MEYER, M.: Effiziente Umsetzung in Unternehmen. In: DUMITRESCU, R.; KOLDEWEY, C. (Hrsg.): *Datengestützte Produktplanung – Mit Betriebsdaten und Data Analytics zur faktenbasierten Planung zukünftiger Produktgenerationen im produzierenden Gewerbe*. Verlagsschriftenreihe des Heinz Nixdorf Instituts, Band 408, Paderborn, 2023, S. 78–87

Inhaltsverzeichnis	Seite
1 Einleitung.....	7
1.1 Problematik.....	7
1.2 Zielsetzung.....	9
1.3 Forschungsdesign.....	10
1.4 Vorgehensweise	13
2 Problemanalyse	15
2.1 Begriffsabgrenzung.....	15
2.1.1 Produkt	15
2.1.2 Neue Produktgeneration	17
2.1.3 Daten, Informationen, Wissen.....	20
2.1.4 Betriebsdaten.....	22
2.1.5 Data Analytics.....	26
2.2 Bedarf und Treiber der Betriebsdaten-gestützten Produktplanung	29
2.2.1 Herausforderungen der strategischen Planung neuer Produktgenerationen.....	29
2.2.2 Entwicklung und Potentiale moderner Produkte	34
2.2.3 Entwicklung und Potentiale von Data Analytics	38
2.3 Theorie der Betriebsdaten-gestützten Produktplanung und Forschungsfokus der Arbeit	41
2.3.1 Grundprinzipien und Ablaufkonzept	42
2.3.2 Vorteile.....	45
2.3.3 Forschungsgegenstand und Forschungsfragen.....	46
2.3.4 Verortung der Arbeit im Prozess der Marktleistungsentstehung	49
2.4 Untersuchungen zur Planung und Verwertung von Betriebsdaten- Analysen in der Produktplanung	52
2.4.1 Datenerhebung	52
2.4.1.1 Literaturanalyse.....	52
2.4.1.2 Eigene empirische Untersuchungen.....	53

2.4.2	Untersuchungsergebnisse zur Integration von Betriebsdaten-Analysen in die strategische Produktplanung	53
2.4.2.1	Ergebnisse der Literaturanalyse.....	54
2.4.2.2	Ergebnisse der empirischen Untersuchungen.....	55
2.4.2.3	Identifizierte Schlüsselfaktoren.....	57
2.4.3	Untersuchungsergebnisse zur Planung von Betriebsdaten-Analysen in der strategischen Produktplanung	58
2.4.3.1	Ergebnisse der Literaturanalyse.....	58
2.4.3.2	Ergebnisse der empirischen Untersuchungen.....	60
2.4.3.3	Identifizierte Schlüsselfaktoren.....	62
2.4.4	Untersuchungsergebnisse zur Verwertung von Betriebsdaten-Analysen in der strategischen Produktplanung	63
2.4.4.1	Ergebnisse der Literaturanalyse.....	63
2.4.4.2	Ergebnisse der empirischen Untersuchungen.....	65
2.4.4.3	Identifizierte Schlüsselfaktoren.....	66
2.5	Anforderungen	68
3	Stand der Forschung.....	71
3.1	Konkurrierende Ansätze zur Betriebsdaten-gestützten Produktplanung und -entwicklung	71
3.1.1	Analyse von Daten zur Entscheidungsunterstützung bei der Produktverbesserung nach DIENST	71
3.1.2	Anforderungserhebung durch explorative Betriebsdaten-Analysen nach RIESENER ET AL.....	73
3.1.3	Entwicklung einer Betriebsdaten-Strategie nach WILBERG.....	75
3.1.4	Entwicklung von KI-Use-Cases nach HOFMANN ET AL.....	78
3.1.5	Bestimmung der Nutzenpotentiale von Felddaten cyber-physischer Systeme nach KREUTZER	80
3.1.6	Kontextbezogene Bereitstellung von Produktnutzungs-Informationen in der Produktentwicklung nach DENG und THOBEN	82
3.1.7	Sammlung und Analyse von Betriebsdaten für die kontinuierliche Produktverbesserung nach VOET ET AL.	84
3.1.8	Datengetriebene Analyse der Funktionsnutzung zur Reduktion von Produktvarianten nach WAGENMANN ET AL.....	85

3.2	Ergänzende Ansätze zum Einsatz von Data Analytics.....	86
3.2.1	Cross Industry Standard Process for Data Mining (CRISP-DM) nach CHAPMAN ET AL.....	87
3.2.2	Knowledge Discovery in Databases (KDD) Process nach FAYYAD ET AL.	88
3.2.3	VDI/VDE 3714 Blatt 1: Durchführung von Big-Data-Projekten .	90
3.2.4	Referenzmodell für wissensgetriebene Datenbereitstellungsprozesse nach WANG ET AL.....	93
3.2.5	Analytics-Canvas nach KÜHN ET AL.	94
3.2.6	Reifegradmodell für Big Data Analytics nach DREMEL ET AL.....	96
3.3	Ergänzende Ansätze zur Produktgenerationsplanung	97
3.3.1	Modell der SGE – Systemgenerationsentwicklung nach ALBERS	97
3.3.2	iPeM – Integriertes Produktentstehungsmodell nach ALBERS ..	99
3.3.3	Modellierung von Produktprofilen nach ALBERS ET AL.	102
3.3.4	3-Säulen-Modell der Produktstrategie nach GAUSEMEIER ET AL.....	104
3.3.5	Release-Planung intelligenter technischer Systeme nach KÜHN	106
3.3.6	Modellgestützte Produktfindung in der Produktgenerationenplanung nach ALBERS	108
3.3.7	Ableitung von generationsübergreifenden Zielsystemen zukünftiger Produktgenerationen durch strateg. Vorausschau nach MARTHALER.....	109
3.3.8	Produktportfolio-übergreifendes Spezifizieren von Produktfunktionen nach FAHL.....	111
3.4	Handlungsbedarf.....	113
4	Vorstellung der Systematik.....	119
4.1	Überblick über die Systematik.....	119
4.2	Referenzmodell für die strategische Planung neuer Produktgenerationen.....	120
4.2.1	Forschungsdesign.....	121
4.2.2	Ergebnis.....	122
4.3	Referenzprozess für die Betriebsdaten-gestützte Produktplanung ..	125

4.3.1	Forschungsdesign.....	125
4.3.2	Ergebnis.....	127
4.4	Methode zur Planung von Betriebsdaten-Analysen in der strategischen Produktplanung.....	129
4.4.1	Generische Use Cases	129
4.4.1.1	Forschungsdesign	130
4.4.1.2	Ergebnis	133
4.4.2	Betriebsdaten-Klassifikation.....	136
4.4.2.1	Forschungsdesign	136
4.4.2.2	Ergebnis	139
4.4.3	Vorgehensmodell	140
4.4.3.1	Analytics-Bedarfsanalyse	142
4.4.3.2	Analytics-Potentialanalyse	145
4.4.3.3	Use-Case-Entwurf.....	148
4.4.3.4	Use-Case-Konkretisierung	151
4.5	Methode zur Verwertung von Betriebsdaten-Analysen in der strategischen Produktplanung.....	155
4.5.1	Gestaltungsprinzipien für die Verwertung von Datenanalyse-Ergebnissen in der strategischen Produktplanung.....	155
4.5.1.1	Forschungsdesign	155
4.5.1.2	Ergebnis	157
4.5.2	Vorgehensmodell	160
4.5.2.1	Ergebnis-Interpretation.....	161
4.5.2.2	Zielsystem-Überarbeitung	163
4.5.2.3	Ideenfindung	165
4.5.2.4	Umsetzungsplanung.....	168
4.6	Unterstützungsevaluation.....	172
5	Anwendung und Evaluation der Systematik	175
5.1	Vorstellung der Anwendungsbeispiele	175
5.1.1	Anwendungsbeispiel „Hydraulischer Oberdruckhammer“	175
5.1.2	Anwendungsbeispiel „Remote I/O-System“	178
5.1.3	Anwendungsbeispiel „Geldautomat“	179

5.1.4 Anwendungsbeispiel „Lüftungsgerät“	182
5.1.5 Fallübergreifende Analyse der Anwendung der Systematik...	184
5.2 Anwendungs- und Erfolgsevaluation.....	185
5.2.1 Vorgehen zur Evaluation.....	186
5.2.2 Anwendungsevaluation des Referenzprozesses	187
5.2.3 Anwendungsevaluation der Methode zur Planung von Betriebsdaten-Analysen in der strategischen Produktplanung.....	188
5.2.4 Anwendungsevaluation der Methode zur Verwertung von Betriebsdaten-Analysen in der strategischen Produktplanung.....	189
5.2.5 Erfolgsevaluation der Systematik.....	190
5.2.6 Fazit zur Evaluation	192
 6 Zusammenfassung, Limitationen und Ausblick.....	 195
 Abkürzungsverzeichnis	 199
 Literaturverzeichnis	 201
 A1 Grundlegende Forschungsprojekte	 229
A1.1DizRuPt – Datengestützte Produktplanung.....	229
A1.2ZuPro – Zukunftsrobuste Produktentwicklung.....	230
 A2 Ergänzungen zu den generischen Use Cases.....	 233
A2.1Karten der entwickelten Use Cases	233
A2.2Karten der verwendeten Nutzenelemente.....	243

1 Einleitung

“Planning is bringing the future into the present so that you can do something about it now.” – ALAN LAKEIN [Lak74, S. 25]

Moderne vernetzte Produkte wie Industriemaschinen oder Haushaltsgeräte erzeugen und sammeln während ihres Betriebs eine Vielzahl an Daten. Die Analyse dieser und weiterer Daten der Betriebsphase (z. B. Auftrags- oder Servicedaten) stellt für die Hersteller der Produkte eine neue Möglichkeit zur Wissensgenerierung und Absicherung produktstrategischer Entscheidungen dar. Bis dato mangelt es jedoch an Lösungsansätzen zur Erschließung dieser Potentiale. Die vorliegende Arbeit befasst sich daher mit der Planung und Verwertung von Betriebsdaten-Analysen in der strategischen Produktplanung. In Abschnitt 1.1 wird die zugrunde liegende Problematik erläutert. Abschnitt 1.2 beschreibt daraufhin die Zielsetzung der vorliegenden Arbeit. Nach der Vorstellung des Forschungsdesign in Abschnitt 1.3 wird in Abschnitt 1.4 abschließend die Vorgehensweise der Arbeit dargelegt.

1.1 Problematik

Die **strategische Produktplanung** nimmt im Produktentstehungsprozess eine besondere Stellung ein: Sie stellt nicht nur dessen erste Phase dar, sondern entscheidet auch maßgeblich über Erfolg und Misserfolg neuer Produkte [CK86, S. 81ff.], [Coo88, S. 238ff.]. In immer dynamischeren Märkten liegt das Hauptaugenmerk produzierender Unternehmen dabei auf der Weiterentwicklung bestehender Produkte [ABU+14, S. 19], [CEK04b, S. 52f.] in sog. **Produktgenerationen**. Diese bergen im Vergleich zu völligen Neuentwicklungen ein deutlich reduziertes Entwicklungsrisiko [ARB+17, S. 351f.]. Die Identifizierung von **Verbesserungspotentialen** zur Planung neuer Produktgeneration ist bis dato jedoch nur ungenügend gelöst. Während in der Forschung Modelle zur Planung und Entwicklung neuer Produkte dominieren [Eve10, S. 6], bewerten Praktiker bestehende Methoden zur Potential- und Ideenfindung als zeitaufwändig und teuer [OP06, S. 66f.]. Zahlreiche Autoren schlagen deshalb vor, Daten und Informationen aus der Betriebsphase bestehender Produktgenerationen systematisch und kontinuierlich in die Produktplanung und -entwicklung zurückzuführen, um die tatsächlichen Produkteigenschaften im Betrieb zu beurteilen und Verbesserungspotentiale zu identifizieren [EM13, S. 203], [RLH96, S. 44], [WD06, S. 135]. Während dieses Potential in der Vergangenheit kaum ausgeschöpft wurde [WPS+12, S. 79], wird es durch Entwicklungen der letzten Jahre zunehmend realisierbar.

Zu diesen zählen der technologische Fortschritt in der Produktwelt und insbesondere der Wandel von mechatronischen zu **cyber-physischen Systemen (CPS)** [GDE+19, S. 86]. Diese verbinden über ihr Kommunikationssystem die Vorgänge der physischen Realität mit **digitalen Netzinfrastrukturen** [Bro10, S. 17], die z. B. in Form von Cloud Compu-

ting Betriebsdaten geografisch verteilter CPS speichern, zusammenfassen und teilen können [APC+16, S. 566]. Hinzu kommen signifikante Leistungssteigerungen von **Data-Analytics-Lösungen**. Diese erlauben es nun auch produzierenden Unternehmen, große Datenmengen zu analysieren [Dav13, S. 66ff.]. Die Verfügbarkeit von Betriebsdaten und die Möglichkeit, diese mit Data-Analytics-Ansätzen zu analysieren, versprechen für die Hersteller von CPS ein großes Nutzenpotential zur datengestützten Verbesserung ihrer Produkte [DAR+21, S. 87], [GSM+19, S. 17], [LPW+16, S. 19], [ADG+22, S. 47].

Findet die Analyse der Betriebsdaten im Rahmen der strategischen Produktplanung statt, wird von einer **Betriebsdaten-gestützten Produktplanung** gesprochen [MPW+23b, S. 17ff.]. Dabei werden die Erkenntnisse der Datenanalyse genutzt, um Verbesserungspotentiale zu identifizieren und neue Produktgenerationen datengestützt zu verbessern [WTH+17, S. 5], [HNU+17, S. 4732], [BAR+21, S. 5]]. Im Vergleich zur herkömmlichen verspricht die Betriebsdaten-gestützte Produktplanung insbesondere ein besseres Produkt-, Kunden- und Nutzerverständnis [HB13, S. 158], [vOL12, S. 872], [HJ20, S. 535] sowie validierte Entscheidungen in der Planung neuer Produktgenerationen [HNU+17, S. 4733]. Für Produktmanager, welche diese attraktiven Potentiale zur Weiterentwicklung ihrer Produkte nutzen wollen, ergeben sich drei zentrale Herausforderungen: die Integration von Betriebsdaten-Analysen in die strategische Produktplanung [AH16, S. 28], die Planung von Betriebsdaten-Analysen [WTH+17, S. 6] sowie deren Verwertung [Ber19, S. 52].

Die **Integration von Betriebsdaten-Analysen** in die strategische Produktplanung ist so zu gestalten, dass sie die bewährten Prozesse unterstützt und nicht ersetzt [HJ20, S. 533ff.], [WTH+17, S. 5]. Empirische Untersuchungen im Rahmen dieser Arbeit legen jedoch nahe: Ein signifikanter Anteil der produzierenden Unternehmen verfügt noch nicht über Modelle und Prozesse zur strategischen Planung neuer Produktgenerationen, die mit Betriebsdaten-Analysen optimiert werden könnten. Hinzu kommt, dass Produktexperten sich bis dato kaum trauen, Betriebsdaten in der Produktentstehung zu nutzen, da sie sich mit der Aufgabe überfordert fühlen und es ihnen an Expertise fehlt [LGG+21, S. 3025f.]. Sie müssen mit klar definierten Prozessen zum Einsatz von Data Analytics unterstützt werden, die zahlreichen Unternehmen jedoch noch fehlen [EHP+17, S. 42], [HB13, S. 159].

In der **Planung von Betriebsdaten-Analysen** gilt es zu berücksichtigen, dass Betriebsdaten-Analysen große Herausforderungen und attraktive Ziele adressieren müssen, um den zusätzlichen Aufwand zu rechtfertigen [Bea22-ol, S. 4], [LLS+11, S. 31]. Gleichzeitig muss die Durchführung der Betriebsdaten-Analyse aber auch realistisch sein für das jeweilige Unternehmen. Dabei sind z. B. die Bereitschaft der Kunden, Betriebsdaten mit dem Hersteller zu teilen, und das Vorhandensein von digitalen Netzinfrastrukturen zur Datenakquisition zu beachten [WSK+17, S. 821], [MFK+22a, S. 9ff.]. Ein weiterer wichtiger Faktor ist die Konkretisierung der Use Cases in Form klarer Fragestellungen, welche Analytics-Experten beantworten sollen [Tho17-ol]. Eine selbst durchgeführte empirische

Studie zeigt dabei, dass Produktexperten aus der Praxis die Use-Case-Definition erheblich besser bewältigen, wenn sie sich an konkreten Beispielen orientieren können [MPK+21, S. 1181ff.].

Die **Verwertung von Betriebsdaten-Analysen** in der strategischen Produktplanung ist ein umfangreicher Prozess, da die Datenanalyse-Ergebnisse in dieser Phase der Produktentstehung im Gegensatz zu späteren Phasen keine unmittelbaren Handlungsempfehlungen darstellen, sondern lediglich der besseren Information der Entscheidungsträger dienen [BYB+20, S. 77f.]. Daher besitzt eine umfangreiche Interpretation der Datenanalyse-Ergebnisse eine hohe Bedeutung [IE20, S. 41]. Sind die Erkenntnisse und Verbesserungspotentiale aus den Datenanalyse-Ergebnissen gewonnen, müssen sie in der Planung neuer Produktgenerationen genutzt werden. Mit einer im Rahmen dieser Arbeit durchgeführten Interviewstudie konnte dabei aufgedeckt werden, dass die Interviewpartner die methodische Planung neuer Produktgenerationen als sehr komplex empfanden und es ihnen an geeigneten Methoden für diese Aufgabe mangelte [MHS+24]. Eine weitere Herausforderung stellt die konsequente Verknüpfung der Datenanalyse-Ergebnisse mit dem Verwertungsprozess dar. Diese muss sichergestellt werden.

Fazit: Die breite Verfügbarkeit von Betriebsdaten cyber-physischer Systeme sowie leistungsstarke Data-Analytics-Lösungen versprechen vielfältige Nutzenpotentiale zur Verbesserung der strategischen Planung neuer Produktgenerationen. Der systematische Einsatz von Betriebsdaten-Analysen im Produktplanungsprozess ist für verantwortliche Produktmanager jedoch alles andere als trivial. Dabei stehen insbesondere die systematische Integration, Planung und Verwertung von Betriebsdaten-Analysen im Fokus. Sie werfen vielfältige Herausforderungen auf, die mit vorhandenen Modellen und Methoden nicht bewältigt werden können. Vor diesem Hintergrund bedarf es einer Systematik, welche die skizzierten Herausforderungen aufgreift und Produktmanager zur Betriebsdaten-gestützten Produktplanung befähigt.

1.2 Zielsetzung

Ziel der Arbeit ist eine Systematik zur Planung und Verwertung von Betriebsdaten-Analysen in der strategischen Produktplanung. Sie soll produzierende Unternehmen befähigen, die Potentiale von Betriebsdaten-Analysen in der strategischen Planung neuer Produktgenerationen zu nutzen. Die Systematik richtet sich zuvorderst an Produktmanager, die für die strategische Weiterentwicklung eines Produkts verantwortlich sind. Der Fokus soll daher nicht auf der Analyse der Betriebsdaten liegen, sondern auf ihrer gezielten Nutzung im Kontext der strategischen Produktplanung. Für diese Aufgabe soll die Systematik zunächst grundsätzlich beschreiben, wie Betriebsdaten-Analysen in die strategische Produktplanung integriert werden können. Darauf aufbauend soll die Systematik die erfolgreiche Planung und Verwertung von Betriebsdaten-Analysen in der strategischen Produktplanung unterstützen.

1.3 Forschungsdesign

Die vorliegende Arbeit entstand im Rahmen der beiden Forschungsprojekte DizRuPt – Datengestützte Produktplanung¹ sowie ZuPro – Zukunftsrobuste Produktentwicklung². In DizRuPt wurde ein Instrumentarium für die datengestützte Produktgenerationen- und Retrofitplanung entwickelt. Das Projekt ZuPro untersuchte die zukunftsrobuste Evolution von Produkten und Produktportfolios. Die in der vorliegenden Arbeit vorgestellten Ergebnisse sind wesentliche Teilergebnisse der Forschungsprojekte.

Forschungsmethodisch orientiert sich die vorliegende Arbeit an der **Design Research Methodology (DRM)** nach BLESSING und CHAKRABARTI [BC09]. Diese stellt ein wissenschaftliches Rahmenwerk dar, das den Anspruch erhebt, Forschungsprozesse aus dem Design-Bereich (z. B. der Produktentwicklung) effektiver und effizienter zu machen. Ein Leitprinzip ist dabei die integrative Entwicklung eines besseren Verständnisses (z. B. einer Aufgabe oder eines Problems) sowie einer geeigneten Unterstützung (z. B. eine Methode). Um diesem Anspruch gerecht zu werden, schlagen die Autoren ein **Vorgehen mit vier Phasen** vor: (1) *Klärung des Forschungsgegenstands*, (2) *Deskriptive Studie I*, (3) *Präskriptive Studie* und (4) *Deskriptive Studie II* [BC09, S. 15]. Das Vorgehen ist in Bild 1-1 dargestellt. Nachfolgend werden die vier Phasen erläutert.

- (1) Die **Klärung des Forschungsgegenstands** umfasst die Identifizierung und Ausarbeitung eines Forschungsproblems, das sowohl für die Wissenschaft als auch für die Praxis eine hohe Relevanz hat. Dabei muss ein gründlicher Überblick über das betrachtete Forschungsfeld, relevante angrenzende Forschungsfelder sowie deren aktuelle Probleme erarbeitet werden [BC09, S. 63ff.]. Das Ergebnis der Phase ist das Forschungsziel, das in Form von Forschungsfragen und -hypothesen operationalisiert wird. Diese stellen den Ausgangspunkt für die weiteren Untersuchungen dar [BC09, S. 44].
- (2) In der **Deskriptiven Studie I (DS-I)** werden die zuvor definierten Forschungsfragen und -hypothesen tiefer analysiert. Dafür müssen neben ausführlichen Literaturanalysen oftmals auch eigene empirische Untersuchungen (z. B. Experteninterviews oder Beobachtungsstudien) durchgeführt werden, um die notwendigen Einblicke in die Ausgangssituation und die vorherrschenden Probleme zu realisieren [BC09, S. 89]. Das wesentliche Ergebnis dieser Phase ist das Verständnis der Ausgangssituation. Dieses äußert sich in Form identifizierter Schlüsselfaktoren, die eine positive Beeinflussung der Ausgangssituation erwarten lassen und damit zu Anforderungen an die zu entwickelnde Unterstützung werden [BC09, S. 137].
- (3) Im Rahmen der **Präskriptiven Studie (PS)** wird die Entwicklung der benötigten Unterstützung betrachtet. Aufbauend auf einer detaillierten Analyse des Stands

¹ Das Konsortialforschungsprojekt DizRuPt wurde vom Bundesministerium für Bildung und Forschung gefördert. Weitere Informationen sind in Anhang A1.1 zu finden.

² Das Forschungsprojekt ZuPro wurde von der Deutschen Forschungsgemeinschaft gefördert. Anhang A1.2 liefert weitere Informationen.

der Forschung wird zunächst der Handlungsbedarf für die eigene Arbeit aufgedeckt [BC09, S. 147]. Anschließend wird die benötigte Unterstützung sukzessive entwickelt [BC09, S. 153ff.]. Mit der sog. Unterstützungsevaluation wird abschließend verifiziert, dass die Unterstützung die an sie gestellten Anforderungen vollständig erfüllt [BC09, S. 176f.]. Das Ergebnis der PS ist die verifizierte Unterstützung [BC09, S. 141f.].

- (4) Die **Deskriptive Studie II (DS-II)** dient der empirischen Untersuchung der Anwendung und des Erfolgs der entwickelten Unterstützung. Mit der Anwendungsevaluation soll festgestellt werden, ob die Unterstützung in der Praxis benutzbar und für den vorgesehenen Zweck geeignet ist. Die Erfolgsevaluation soll zeigen, ob die Unterstützung definierte Erfolgskriterien erfüllt [BC09, S. 37]. Die DS-II liefert damit die Evaluation der entwickelten Unterstützung [BC09, S. 214].

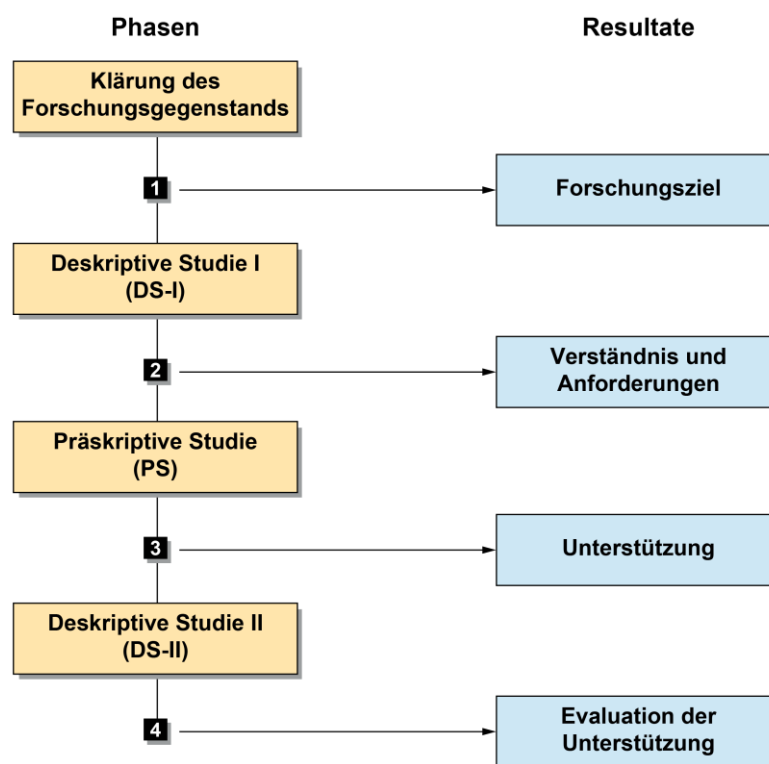


Bild 1-1: Vorgehensmodell der Design Research Methodology in Anlehnung an BLESING und CHAKRABARTI [BC09, S. 15]

Das vorgestellte DRM-Rahmenwerk und seine vier Phasen können je nach Umfang und Ziel des bearbeiteten Forschungsprojekts unterschiedlich ausgeprägt werden. Im Allgemeinen gibt es **drei Studienarten**: (1) *Literatur-basiert*, (2) *umfassend* und (3) *initial*. (1) In einer *Literatur-basierten* Studie werden ausschließlich Literaturanalysen durchgeführt. (2) Im Gegensatz dazu zeichnet sich eine *umfassende* Studie durch eigene empirische Untersuchungen aus, die Forschungslücken in der Literatur adressieren. (3) Im Rahmen einer *initialen* Studie werden lediglich erste Schritte in Richtung einer umfassenden Studie unternommen. Während die Klärung des Forschungsgegenstands immer auf Basis von Literaturanalysen geschehen soll, kann die Deskriptive Studie I sowohl rein Literatur-

basiert als auch umfassend erfolgen. Die Präskriptive Studie kann Literatur-basiert, umfassend oder initial durchgeführt werden. Die Deskriptive Studie II kann hingegen entweder umfassend oder initial ausgeprägt werden. Für die **Kombination der Studienarten in den vier Phasen** unterbreiten BLESSING und CHAKRABARTI **sieben Vorschläge**, die in Tabelle 1-1 abgebildet sind.

Tabelle 1-1: Typen von DRM-Projekten [BC09, S. 18]

Nr.	Klärung d. Forschungsgegenstands	Deskriptive Studie I (DS-I)	Präskriptive Studie (PS)	Deskriptive Studie II (DS-II)
1	Literatur-basiert	Umfassend		
2	Literatur-basiert	Umfassend	Initial	
3	Literatur-basiert	Literatur-basiert	Umfassend	Initial
4	Literatur-basiert	Literatur-basiert	Literatur-basiert Initial/Umfassend	Umfassend
5	Literatur-basiert	Umfassend	Umfassend	Initial
6	Literatur-basiert	Literatur-basiert	Umfassend	Umfassend
7	Literatur-basiert	Umfassend	Umfassend	Umfassend

Da sich die Qualität von Forschungsergebnissen in der Design Science-Domäne nicht nur am Beitrag zur Wissensbasis, sondern auch an der praktischen Relevanz misst [HMP04, S. 83], ist es unerlässlich, die jeweiligen Adressaten direkt in den Forschungsprozess zu integrieren. Die bewusste **Zusammenarbeit von Forschungspartnern und Anwenderunternehmen in einem Konsortium** wird von ÖSTERLE und OTTO in einer **Methode für Konsortialforschung** organisiert [ÖO10a, S. 287], [ÖO10b, S. 278]. Diese umfasst die vier Phasen *Analyse*, *Gestaltung*, *Evaluation* sowie *Diffusion* und zielt unter anderem darauf ab, dass

- mehrere Partnerunternehmen ihre Expertise in das Forschungsprojekt einbringen,
- entwickelte Artefakte in den Partnerunternehmen getestet werden und
- eine gemeinsame Evaluation der Projektergebnisse stattfindet [ÖO10b, S. 279], [ÖO10a, S. 288f.].

Beim Vergleich mit dem DRM-Rahmenwerk fällt auf, dass sich die ersten drei Phasen der Methode für Konsortialforschung auch in den vier DRM-Phasen wiederfinden: Die *Analyse*-Phase wird inhaltlich durch die *Klärung des Forschungsgegenstands* und die *DS-I* abgedeckt; das Pendant der Phase *Gestaltung* ist die *PS*; die Phase *Evaluation* wird durch die *DS-II* repräsentiert. Aufgrund dieser Ähnlichkeiten in der Vorgehensweise erscheint es plausibel, dass die Leitideen der Konsortialforschungs-Methode auch im DRM-Rahmenwerk genutzt werden können. Daher wurden die Partner der beiden Forschungsprojekte, und dabei insbesondere die Anwenderunternehmen des DizRuPt-Konsortiums, immer wieder in die Bearbeitung der vier DRM-Phasen einbezogen, um Impulse aus der Praxis zu liefern und Lösungsansätze in der Praxis zu evaluieren.

Vor diesem Hintergrund erklärt sich die **Ausgestaltung der vier DRM-Phasen** im Rahmen der vorliegenden Arbeit:

- Der **Forschungsgegenstand** wurde auf Basis einer **ausführlichen Literaturanalyse** geklärt und abgegrenzt. Dabei wurden die einzelnen Forschungsfelder, auf denen diese Arbeit aufbaut, zunächst isoliert betrachtet und anschließend systematisch zum Forschungsgegenstand zusammengeführt.
- Für die identifizierten Forschungsziele und -fragen wurde eine **umfassende DS-I** durchgeführt. Neben der Literaturanalyse wurden fünf empirische Untersuchungen vorgenommen. Eine davon ist eine empirische Langzeit-Studie, welche die mehrjährige Partizipation im Forschungsprojekt DizRuPt repräsentiert und aus Sicht der Forscher einer teilnehmenden Beobachtung ähnelt. Die weiteren vier Studien stellen explizit durchgeführte empirische Studien dar.
- Die **PS** wurde ebenfalls als **umfassende Studie** durchgeführt, indem zunächst der Stand der Forschung analysiert und anschließend eine eigene Unterstützung entwickelt wurde. Bei dieser handelt es sich um die Systematik zur Planung und Verwertung von Betriebsdaten-Analysen in der strategischen Produktplanung, die das Ergebnis dieser Arbeit darstellt.
- Die Evaluation der Unterstützung erfolgte mit einer **initialen DS-II**. Dafür wurde die Unterstützung zunächst mit den vier Anwenderunternehmen des Projekts DizRuPt getestet. Anschließend wurden Evaluationsinterviews mit Vertretern der Anwenderunternehmen durchgeführt.

Diese Kombination der Studien – Literatur-basierte Klärung des Forschungsgegenstands, umfassende DS-I, umfassende PS, initiale DS-II – entspricht dem fünften Vorschlag zur Ausprägung von DRM-Projekten nach BLESSING und CHAKRABARTI (siehe Tabelle 1-1), [BC09, S. 18].

1.4 Vorgehensweise

Die vorliegende Arbeit gliedert sich in sechs Kapitel. Nach der Einführung in die Problematik in **Kapitel 1** wird diese in **Kapitel 2** umfassend untersucht. Dafür werden zunächst die Begriffe definiert, die für das Verständnis der Arbeit zentral sind. Anschließend werden die Bedarfe und Treiber der Betriebsdaten-gestützten Produktplanung vorgestellt. Auf dieser Grundlage wird eine Theorie der Betriebsdaten-gestützten Produktplanung aufgebaut, anhand welcher der Forschungsfokus der vorliegenden Arbeit beschrieben wird. Dabei werden auch die Forschungsfragen hergeleitet, für die nachfolgend die Ergebnisse von weiterführenden Literaturanalysen und empirischen Studien vorgestellt werden. Aus diesen Untersuchungsergebnissen resultieren Anforderungen an die Systematik zur Planung und Verwertung von Betriebsdaten-Analysen in der strategischen Produktplanung, die das Ergebnis der Problemanalyse darstellen.

Kapitel 3 beschreibt den gegenwärtigen Stand der Forschung. Zu Beginn werden dabei konkurrierende Ansätze vorgestellt und bewertet. Daraufhin werden ergänzende Ansätze

zum Einsatz von Data Analytics und ergänzende Ansätze zur Produktgenerationsplanung beschrieben. Die Bewertung der diskutierten Ansätze anhand der gestellten Anforderungen führt zum Handlungsbedarf für die zu entwickelnde Systematik.

In **Kapitel 4** wird die Systematik zur Planung und Verwertung von Betriebsdaten-Analysen in der strategischen Produktplanung vorgestellt. Zunächst wird ein Überblick über die Systematik und ihre Bestandteile gegeben. Danach werden die einzelnen Bestandteile detailliert erklärt. Das Kapitel schließt mit der Unterstützungsevaluation, in der die Systematik anhand der Anforderungen aus Kapitel 2 bewertet wird.

Die Anwendung und Evaluation der Systematik wird in **Kapitel 5** beschrieben. Dabei werden zunächst die vier Anwendungsbeispiele vorgestellt und eine fallübergreifende Analyse der Anwendung der Systematik durchgeführt. Darauf folgt die Anwendungs- und Erfolgsevaluation, zu deren Zweck die Repräsentanten der vier Anwendungsbeispiele in einer Interviewstudie die Benutzerbarkeit und die Eignung sowie den Erfolg der entwickelten Systematik eingeschätzt haben.

Kapitel 6 schließt die Arbeit mit einer Zusammenfassung, den Limitationen und einem Ausblick auf zukünftige Forschungsbedarfe ab.

Bild 1-2 stellt die Zusammenhänge der Gliederung der Arbeit und der DRM-Phasen dar.

Gliederung der Arbeit		DRM-Phasen
Kap. 2: Problemanalyse	Kap. 2.1 bis 2.3	Klärung des Forschungsgegenstands
	Kap. 2.4 und 2.5	Deskriptive Studie I (DS-I)
Kap. 3: Stand der Forschung		Präskriptive Studie (PS)
Kap. 4: Vorstellung der Systematik		
Kap. 5: Anwendung und Evaluation der Systematik		Deskriptive Studie II (DS-II)

Bild 1-2: Gliederung der Arbeit und korrespondierende DRM-Phasen

2 Problemanalyse

“The formulation of a problem is often more essential than its solution [...]. To raise new questions, new possibilities, to regard old problems from a new angle requires creative imagination and marks real advance in science.” – ALBERT EINSTEIN und LEOPOLD INFELD [EI38, S. 95]

Das Ziel der vorliegenden Arbeit ist eine Systematik zur Planung und Verwertung von Betriebsdaten-Analysen in der strategischen Produktplanung. Um eine solche Systematik zu entwickeln, ist ein umfassendes Problemverständnis erforderlich. Daher gilt es zu Beginn, den Forschungsgegenstand zu klären [BC09, S. 15]. Gegenstand von Abschnitt 2.1 ist deshalb zunächst die Begriffsabgrenzung. Abschnitt 2.2 dient anschließend der Vorstellung der relevanten Forschungsfelder, in deren Schnittpunkt die Betriebsdaten-gestützte Produktplanung entsteht. In Abschnitt 2.3 werden darauf aufbauend die Theorie der Betriebsdaten-gestützten Produktplanung und der Schwerpunkt der vorliegenden Arbeit in Form von Forschungsgegenstand und -fragen vorgestellt. Sind Forschungsgegenstand und -ziel bekannt, werden das spezifische Problemverständnis vertieft und die Anforderungen an die zu entwickelnde Unterstützung abgeleitet [BC09, S. 15f.]. Entsprechend beschreibt Abschnitt 2.4 zunächst weiterführende Untersuchungen zu den identifizierten Forschungsfragen sowie zu deren Ergebnisse. In Abschnitt 2.5 werden abschließend die Anforderungen an eine Systematik zur Planung und Verwertung von Betriebsdaten-Analysen in der strategischen Produktplanung präsentiert.

2.1 Begriffsabgrenzung

Eine wesentliche Voraussetzung für effektive Kommunikation ist ein einheitliches Begriffsverständnis. Ohne dieses wird die wissenschaftliche Auseinandersetzung mit der Planung und Verwertung von Betriebsdaten-Analysen in der strategischen Produktplanung unnötig erschwert. Daher werden in den nachfolgenden Abschnitten 2.1.1 bis 2.1.5 die relevanten Begriffe der vorliegenden Arbeit voneinander abgegrenzt und definiert.

2.1.1 Produkt

Der Ursprung des Begriffs Produkt liegt im lateinischen Wort *productum*, das auf Deutsch *das Hervorgebrachte* bedeutet [PBG+93-ol]. Heute wird der Begriff vielfältig verwendet. Um das Verständnis des Begriffs in dieser Arbeit zu präzisieren, werden im Folgenden drei systematische Auseinandersetzungen mit dem Produktbegriff beschrieben, die jeweils einen anderen Schwerpunkt setzen.

Industrielle Produkte können grundsätzlich in *Verbrauchs-* und *Gebrauchsgüter* gegliedert werden [GDE+19, S. 11]. Während Gebrauchsgüter mehrmalig genutzt werden können (z. B. Werkzeuge), sind Verbrauchsgüter für die einmalige Nutzung bestimmt (z. B.

Rohstoffe wie Öl). Gebrauchsgüter unterscheiden die Autoren wiederum in Abhängigkeit ihres Materialitätsgrads in *Sachleistungen*, *Dienstleistungen* und *hybride Leistungsbündel*. Sachleistungen sind materielle Produkte und das Ergebnis von Produktionsprozessen. Dienstleistungen bezeichnen immaterielle Produkte, die Leistungsfähigkeit bereitstellen oder einsetzen, um z. B. Kunden einen Nutzen zu stiften [BM12, S. 25]. Hybride Leistungsbündel beschreiben Kombinationen von Sach- und Dienstleistungen bzw. von materiellen und immateriellen Produkten [MUK05, S. 528ff.], [GDE+19, S. 12].

Vor dem Hintergrund dieser Aufgliederung des Produktbegriffs muss jedoch festgehalten werden, dass in der Literatur kein Konsens darüber herrscht, inwiefern Dienstleistungen Teil eines Produkts sein können. HOMBURG unterscheidet in diesem Zusammenhang drei Verständnisse des Produktbegriffs [Hom17, S. 557]:

- Der **substanzielle Produktbegriff** fasst ein Produkt als ein Bündel von physisch-technischen Eigenschaften auf, die Kunden einen funktionalen Nutzen liefern. Dieses Begriffsverständnis umfasst lediglich physische Produkte, die auch als Sachgüter bezeichnet werden. Dienstleistungen, die immaterielle Güter darstellen, sind nach diesem Verständnis kein Produkt. Ein Beispiel für ein Produkt nach dem substanziellen Produktverständnis ist ein Sportwagen [Hom17, S. 557].
- Mit dem **erweiterten Produktbegriff** wird ein Leistungspaket bezeichnet, das aus physischen Produkten und Dienstleistungen bestehen kann. Ein solches Leistungspaket verspricht einen umfassenden funktionalen Kundennutzen. Es kann (1) nur aus einem physischen Produkt, (2) nur aus einer Dienstleistung oder (3) aus einem physischen Produkt und einer Dienstleistung bestehen. Ein Sportwagen mit einer Gratiswartung ist ein Beispiel für ein Produkt nach dem erweiterten Produktverständnis [Hom17, S. 557].
- Der **generische Produktbegriff** weist das breiteste Verständnis auf. Wie der erweiterte Produktbegriff umfasst er physische Produkte und Dienstleistungen. Jedoch berücksichtigt er neben dem funktionalen Nutzen auch weitere Nutzenkategorien wie den sozialen oder emotionalen Nutzen. Im generischen Produktverständnis kann z. B. das besondere Renommee einer Sportwagen-Marke einen elementaren Produktbestandteil ausmachen, da es einen Zusatznutzen in Form von sozialem Prestige transportiert [Hom17, S. 557].

Neben der Frage, ob Dienstleistungen Teil eines Produkts sein können, gibt es weitere Dimensionen, anhand derer Produkte unterschieden werden können. DINKELBACH und ROSENBERG führen z. B. die noch ausstehenden Produktionsschritte in einem Unternehmen sowie die Mittelbarkeit der Bedürfnisbefriedigung auf [DR04, S. 28f.]. Auf Basis dieser Kriterien unterscheiden sie Produkte in Zwischen- und Endprodukte sowie in Konsum- und Produktionsgüter:

- Unter **Zwischenprodukten** werden die Produkte verstanden, die ein Produktionssystem eines Unternehmens verlassen haben, in einem anderen Produktionssystem desselben Unternehmens aber noch weiterbearbeitet werden [DR04, S. 28f.].

- **Endprodukte** sind für ein Unternehmen die Produkte, die mit dem Verlassen des Produktionssystems auch das Unternehmen verlassen [DR04, S. 28f.].
- Produkte, die unmittelbar der Bedürfnisbefriedigung dienen, werden **Konsumgüter** genannt [DR04, S. 28f.].
- Dienen die Produkte nur mittelbar der Bedürfnisbefriedigung, da sie in Produktionssysteme anderer Unternehmen eingehen, werden sie als **Produktionsgüter** bezeichnet [DR04, S. 28f.].

Die Ausführungen zeigen, dass der Produktbegriff in der Literatur sehr heterogen genutzt wird und zahlreiche Facetten besitzt. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wird der Begriff wie folgt verstanden:

Produkte sind Sachgüter, die von einem Unternehmen entwickelt, produziert und vertrieben werden. Sie weisen physisch-technische Eigenschaften auf und liefern Kunden als Gebrauchsgüter einen funktionalen Nutzen. Sie können sowohl Konsum- als auch Produktionsgüter darstellen.

Die Definition folgt dem substanziellen Produktverständnis, indem Produkte als materielle Gebrauchsgüter beschrieben werden, deren physisch-technische Eigenschaften funktionalen Kundennutzen schaffen. Dieses Begriffsverständnis wird gewählt, weil die Betriebsdaten-Analyse von Gebrauchsgütern im Fokus dieser Arbeit steht. Mit Hilfe derartiger Analysen kann im Wesentlichen nur der funktionale Nutzen des Produkts erfasst werden – andere Nutzenkategorien wie sozialer Nutzen lassen sich über Betriebsdaten (siehe Abschnitt 2.1.4 zur Definition des Begriffs) kaum messen. Die Festlegung auf Endprodukte, die vom jeweiligen Unternehmen entwickelt, produziert und vertrieben werden, stellt sicher, dass die datengestützte Verbesserung des Produkts vom Unternehmen selbstständig umgesetzt werden kann. Da die Sammlung und Analyse von Betriebsdaten nicht auf den Business-to-Business- oder den Business-to-Consumer-Kontext beschränkt ist, wird keine Festlegung auf Konsum- oder Produktionsgüter vorgenommen.

2.1.2 Neue Produktgeneration

Aufbauend auf dem geschaffenen Verständnis des Produktbegriffs soll im Folgenden die Weiterentwicklung bzw. Evolution von Produkten betrachtet werden. Dafür wird zunächst auf den Begriff der *Innovation* eingegangen. Neue Produkte, also Inventionen, die am Markt wirtschaftlich erfolgreich sind, werden nach SCHUMPETER als Innovationen bezeichnet [Sch61, S. 91ff.]. Aufbauend auf SPUR unterscheiden GAUSEMEIER ET AL. Innovationen in Abhängigkeit ihrer Veränderung in Basis- und Folgeinnovationen [Spu98], [GDE+19, S. 6f.]. Basisinnovationen stellen dabei Startpunkte fundamentaler Veränderungen dar, die nicht selten in gänzlich neue Industriezweige und Geschäftsfelder münden. Folgeinnovationen beschreiben hingegen eine deutlich weniger radikale Weiterentwicklung des Bestehenden. Eine ähnliche Unterteilung wählt CHRISTENSEN, der disruptive und erhaltende Innovationen unterscheidet. Erhaltende Innovationen bauen dabei auf

existierenden Produkten und Technologien auf. Der Veränderungsgrad kann hier von inkrementell bis radikal reichen. Disruptive Innovationen hingegen bauen nicht direkt auf existierenden Produkten und Technologien auf. Vielmehr liefern sie vollkommen andere Nutzenversprechen als die, die bis dato verfügbar sind [Chr03, S. xviii ff.]. GAUSEMEIER ET AL. halten in ihrer Diskussion des Innovationsbegriffs fest, dass disruptive Innovationen eine hohe Ähnlichkeit mit Basisinnovationen aufweisen und erhaltende Innovationen im Wesentlichen Folgeinnovationen entsprechen [GDE+19, S. 7]. **Im Fokus** der Betriebsdaten-gestützten Produktplanung und damit der vorliegenden Arbeit stehen **erhaltende bzw. Folgeinnovationen**. Bei diesen wird ein existierendes Produkt im Sinne einer Evolution weiterentwickelt, damit es auch in Zukunft wirtschaftlich erfolgreich ist.

Für die Weiterentwicklung bzw. Evolution bestehender Produkte gibt es mehrere Möglichkeiten. Aufbauend auf KÜHN können z. B. **vier Release-Typen** unterschieden werden [GDE+19, S. 328 f.], [Küh17, S. 104 f.]:

- (1) **Sofortmaßnahmen** adressieren dringende Änderungen wie die Behebung sicherheitsrelevanter Fehler. Sie müssen in der Regel ad hoc umgesetzt werden [GDE+19, S. 329].
- (2) **Minor Releases** umfassen aufwandsarme Produktvariationen und -ergänzungen, die vom Kunden zwar wahrgenommen werden, aber nicht für eine signifikante Steigerung der Kundenzufriedenheit sorgen. Sie werden entsprechend auch nicht gesondert vermarktet. Ein Beispiel stellt die Behebung kleinerer Schwächen einer Produktfunktion dar [GDE+19, S. 329].
- (3) **Major Releases** stellen Produktvariationen dar, die den Kundennutzen des Produkts signifikant erhöhen und daher auch aktiv vermarktet werden. Dabei kann es sich z. B. um die Einführung eines neuen Produktfeatures handeln [GDE+19, S. 328]. Major Releases werden auch als Facelifts bezeichnet [Küh17, S. 104].
- (4) **Neue Produktgenerationen** zeichnen sich durch eine umfassende Überarbeitung eines bestehenden Produkts aus, der sog. Vorgängergeneration. Die Weiterentwicklung bezieht sich auf das gesamte Produkt und kann Variationen von Technologien, Funktionen oder auch des Erscheinungsbilds beinhalten. Entsprechend hoch fallen die Aufwände aus [GDE+19, S. 328]. Entsprechend besitzen neue Produktgenerationen im Vergleich zu anderen erhaltenden bzw. Folgeinnovationen einen hohen Veränderungsgrad. Dieser ist aber geringer als der von Basisinnovationen [GDE+19, S. 8].

Es ist zu beachten, dass Sofortmaßnahmen, Minor Releases und Major Releases grundsätzlich Auslöser von Variationen innerhalb des Lebenszyklus (siehe Abschnitt 2.1.4 zur Definition des Begriffs) einer Produktgeneration sind [Küh17, S. 10]. Das bedeutet, dass in Folge dieser drei Release-Typen zwar neue Versionen des betrachteten Produkts entstehen, diese aufgrund des zu geringen Innovationsbeitrags aber zur gleichen Produktgenerationen gehören. Bild 2-1 stellt diese Zusammenhänge dar.

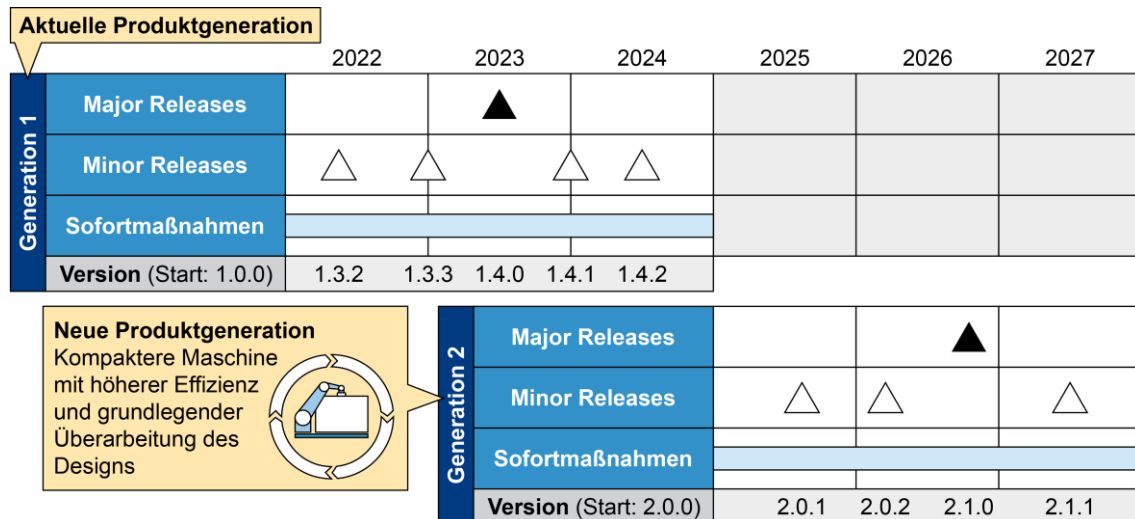


Bild 2-1: Release-Plan in Anlehnung an GAUSEMEIER ET AL. und KÜHN [GDE+19, S. 329], [Küh17, S. 133]

Im Wesentlichen kann festgestellt werden, dass in weiten Teilen der Literatur ein ähnliches Verständnis des Begriffs der neuen Produktgeneration herrscht. Dabei betonen einzelne Autoren oftmals lediglich unterschiedliche Aspekte. SÄÄKSJÄRVI und LAMPINEN heben z. B. hervor, dass es sich bei innovativen Produktgenerationen um Nachfolge-Versionen bestehender Produkte handelt, die durch neue oder verbesserte Features zeitgemäßer und attraktiver als ihre Vorgänger sind. Vorgänger und Nachfolger sind sich jedoch so nah, dass Kunden die Verbindung beider in der Regel ohne große Schwierigkeiten erkennen können [SL05, S. 146]. LIN und KREMER nennen Produkte, die in aufeinanderfolgenden Generationen entwickelt werden, Multi-Generationsprodukte. Sie betonen, dass aufeinanderfolgende Produktgenerationen in der Regel die gleichen Marktnischen und Kundensegmente ansprechen und dabei die gleichen Kernfunktionalitäten anbieten. Dies unterscheidet sie z. B. von Produktfamilien, deren Produktvarianten trotz einer hohen Ähnlichkeit bewusst unterschiedliche Nutzenversprechen bieten und damit für verschiedene Kundensegmente bestimmt sind [LK14, S. 79]. In der Praxis werden neue Produktgenerationen auf Produktfamilien-Ebene definiert [MHK+21, S. 460].

Im Vergleich zu diesen Ausführungen wählen ALBERS ET AL. einen allgemeineren Ansatz, um den Begriff der Produktgeneration zu beschreiben. So halten sie zunächst fest, dass die meisten Produktentwicklungsprojekte als Produktgenerations-Entwicklungsprojekte beschrieben werden können – egal ob eine Vorgängergeneration existiert oder nicht [ABW15a, S. 18]. Die Entwicklung einer initialen Produktgeneration ohne direkten Vorgänger bezeichnet ALBERS dabei als G_1 -Entwicklung [Alb20b]. Die Entwicklung einer Produktgeneration G_n als Nachfolger einer existierenden Generation G_{n-1} wird hingegen G_n -Entwicklung genannt³. Deren Differenzierung zur Vorgängergeneration wird über den Neuentwicklungsanteil gesteuert. Im Vergleich zu dieser soll die neue Produktgeneration

³ Eine Systematik zur Einordnung von Produktentwicklungen in das Modell der PGE bzw. SGE ist in [AER+20, S. 8ff.] zu finden.

dabei insbesondere neue Leistungs- und Begeisterungsmerkmale besitzen, mit denen neue oder veränderte Kundenwünsche und -bedarfe erfüllt werden können [ABW15a, S. 18f.], [ABW15b, S. 4ff.]. Tiefergehende Ausführungen zu diesem Verständnis sind Abschnitt 3.3.1 zu entnehmen, in dem das Modell der SGE – Systemgenerationsentwicklung nach ALBERS detailliert beschrieben wird.

Auf Basis der obigen Ausführungen wird folgende **Definition des Begriffs der neuen Produktgeneration** für die vorliegende Arbeit gewählt:

Eine neue Produktgeneration ist ein Produkt, das den Nachfolger eines bestehenden Produkts, der sog. Vorgängergeneration, darstellt. Sie ist von der initialen Produktgeneration zu differenzieren, die keine direkte Vorgängergeneration besitzt. Eine neue Produktgeneration unterscheidet sich von ihrem Vorgänger in wesentlichen Merkmalen, z. B. im Hinblick auf die gebotenen Features oder die genutzten Technologien. Mit ihren Differenzierungsmerkmalen strebt eine neue Produktgeneration die Erfüllung neuer oder veränderter Kundenwünsche und -bedarfe an, die von der Vorgängergeneration nicht mehr erreicht werden. Eine Produktgeneration kann sich in ihrem Lebenszyklus in begrenztem Umfang weiterentwickeln.

Diese Definition hebt zunächst die Bedeutung des Vorhandenseins einer Vorgängergeneration hervor. Dies ist für den Forschungsgegenstand dieser Arbeit unentbehrlich, da mindestens eine Vorgängergeneration die Betriebsdaten sammeln und erzeugen muss, mit denen die strategische Planung neuer Produktgenerationen verbessert werden soll. Mit dem generischen Hinweis auf signifikante Unterschiede in wesentlichen Produktmerkmalen, welche die neue von der bestehenden Produktgeneration unterscheiden, wird der notwendige Differenzierungsbedarf einer neuen Produktgeneration betont. Dabei wird die Gültigkeit für Produkte verschiedener Branchen nicht beeinträchtigt. Die anschließende Auseinandersetzung mit den Differenzierungsmerkmalen und ihrem Beitrag zur Erfüllung der Kundenwünsche und -bedarfe beschreibt, dass eine neue Produktgeneration immer zum Ziel haben sollte, ihre Vorgängergeneration hinsichtlich relevanter Kriterien wie Kosten und Leistung zu übertrumpfen. Zuletzt betont die Definition die Möglichkeit der Evolution einer Produktgeneration über ihren Lebenszyklus, welche durch Sofortmaßnahmen, Minor Releases und Major Releases realisiert wird.

2.1.3 Daten, Informationen, Wissen

In der täglichen Kommunikation ist die Unterscheidung der Begriffe *Daten* und *Informationen* auf der einen Seite sowie der Begriffe *Informationen* und *Wissen* auf der anderen Seite sehr vage und sorgt typischerweise für Probleme [BC04, S. 44]. Daher soll der Datenbegriff im Folgenden definiert und von verwandten Begriffen abgegrenzt werden.

Das wahrscheinlich bekannteste Modell zur Abgrenzung der Begriffe *Daten*, *Informationen*, *Wissen* und *Weisheit* (DIKW, nach den Anfangsbuchstaben der englischen Begriffe *Data*, *Information*, *Knowledge*, *Wisdom*) ist die sogenannte **DIKW-Hierarchie**, die oft auch Wissenspyramide oder -hierarchie genannt wird. Das Modell beinhaltet die vier Ebenen (1) Daten, (2) Informationen, (3) Wissen und (4) Weisheit sowie ihre Zusammenhänge [Row07, S. 164]. Es geht zurück auf ACKOFF, der die vier Begriffe wie folgt voneinander abgrenzt: (1) Daten werden als Zeichen beschrieben, die Eigenschaften von Objekten und Ereignissen repräsentieren; (2) Informationen sind in Beschreibungen und Antworten auf Fragen mit den Fragewörtern *wer*, *was*, *wann*, *wo* und *wie viele* enthalten. Sie werden aus Daten gewonnen; (3) Wissen wird als Know-how definiert. Es ermöglicht die Anwendung von Daten und Informationen zur Beantwortung von Fragen nach dem *wie*; (4) Weisheit ist die Fähigkeit, die Effektivität des Betrachtungsgegenstands zu steigern und Wert zu schaffen. Dies geschieht durch die Bewertung von Daten, Informationen und Wissen [Ack99, S. 170ff.]. Diese ursprüngliche Version des Modells wird von zahlreichen Autoren weiterentwickelt, evaluiert und kritisiert [Row07], [Fri09], [Tuo99].

Ein alternatives Modell stellt die Wissensleiter von NORTH und KUMTA dar [NK18, S. 35]. Sie verfügt über die Stufen Zeichen, Daten, Informationen, Wissen, Handeln bzw. Know-how, Kompetenz und Wettbewerbsfähigkeit. (1) Zeichen wie Buchstaben oder Nummern dienen der menschlichen Kommunikation. (2) Durch eine Syntax werden Zeichen interpretierbar und somit zu Daten. (3) Bekommen diese Daten eine Bedeutung, also eine Semantik, entstehen Informationen. (4) Die Vernetzung der Informationen, z. B. durch Kontextualisierung sowie den Abgleich mit Erfahrungen und Erwartungen, kreiert Wissen, (5) das durch die Anwendung zu Know-how wird. (6) Die richtige Anwendung des Know-hows im richtigen Moment repräsentiert Kompetenz. (7) Werden die verschiedenen Kompetenzen einzigartig gebündelt, entsteht Wettbewerbsfähigkeit [NK18, S. 35ff.]. Die Wissensleiter ist in Bild 2-2 dargestellt.

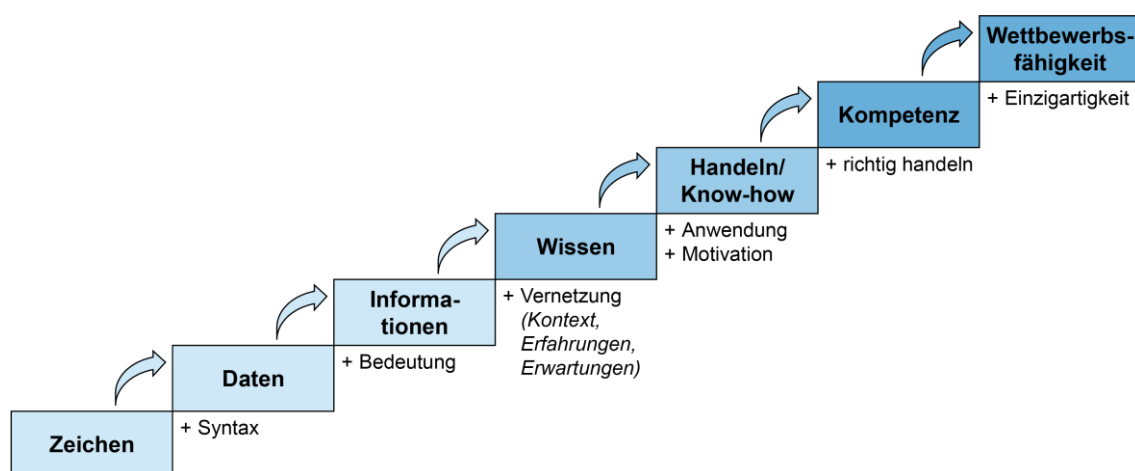


Bild 2-2: Wissensleiter nach NORTH und KUMTA [NK18, S. 35]

Weitere Modelle stimmen im Wesentlichen mit den eingeführten Ebenen von NORTH und KUMTA überein, definieren jedoch andere Übergänge zwischen den Ebenen. PROBST ET

AL. erklären z. B. ebenfalls, dass eine Syntax Zeichen zu Daten macht. Informationen setzen sich für sie jedoch aus Daten und dem jeweiligen Kontext zusammen. Die Vernetzung dieser Informationen führt in ihrem Modell zu Wissen [PRR12, S. 16]. Eine gänzlich andere Art der Übergänge zwischen den Ebenen definieren BOISOT und CANALS. In ihrem Modell werden äußere Stimuli durch WahrnehmungsfILTER zu Daten transformiert. Diese werden wiederum durch konzeptionelle Filter zu Informationen umgewandelt. Diese Informationen fließen in das Wissen ein, das durch mentale Modelle und Werte aufgebaut ist [BC04, S. 47f.].

Vor dem Hintergrund dieser unterschiedlichen Modelle und Definitionen werden die Begriffe Daten, Informationen und Wissen für die vorliegende Arbeit wie folgt definiert und abgegrenzt:

Daten sind Zeichen, die durch eine Syntax verknüpft sind und so Eigenschaften von Objekten oder Ereignissen beschreiben. Informationen wiederum entstehen aus Daten, die so sehr verknüpft und verdichtet sind, dass ihre Bedeutung bekannt ist. Wissen beschreibt mentale Modelle und Werte und entsteht bzw. verändert sich auf Basis von Informationen, die im jeweiligen Kontext vor dem Hintergrund der existierenden Erfahrungen und Erwartungen interpretiert werden.

Die Definition greift die vier Ebenen Zeichen, Daten, Informationen und Wissen auf, über die in den vorgestellten Modellen im Wesentlichen ein Konsens herrscht. Für die Übergänge zwischen den Ebenen wird zuvorderst auf das Modell nach NORTH und KUMTA zurückgegriffen [NK18, S. 35], da dieses aus dem Kontext des organisationalen Wissensmanagements kommt und damit den Prozess der Wissensgewinnung in einem Unternehmen adäquat beschreibt. Für die Ebene des Wissens wird außerdem aufgegriffen, dass sich dieses nach BOISOT und CANALS aus mentalen Modellen und Werten zusammensetzt, die durch neue Informationen verändert oder ergänzt werden können [BC04, S. 47f.]. Diese Ergänzung scheint im Rahmen der vorliegenden Arbeit sinnvoll, da Unternehmen zu ihren bestehenden Produkten bereits Wissen besitzen, das durch die Durchführung von Betriebsdaten-Analysen verändert oder ergänzt werden soll.

2.1.4 Betriebsdaten

Der Begriff *Betriebsdaten* setzt sich aus den beiden Begriffen *Betrieb* und *Daten* zusammen. Da der Begriff der Daten bereits in Abschnitt 2.1.3 definiert wurde, soll in diesem Abschnitt zunächst der Begriff *Betrieb* erläutert werden. Im Anschluss wird der zusammengesetzte Begriff der Betriebsdaten definiert und abgegrenzt.

Produkte unterliegen einem **Lebenszyklus**. Nach FELDHUSEN und GROTE können insbesondere drei Sichtweisen auf den Lebenszyklus von Produkten unterschieden werden [FG13, S. 296]. (1) Der betriebswirtschaftliche Produktlebenszyklus stellt wirtschaftliche

Kenngößen wie den Umsatz oder den Deckungsbeitrag eines Produkts über dessen Vermarktungs-Phasen *Einführung*, *Wachstum*, *Reife*, *Sättigung* und *Degeneration* dar [Olb06, S. 70]. (2) Der technologische Produktlebenszyklus zeigt die Umsetzung und Leistungsfähigkeit einer Technologie in einem Produkt über die Zeit [FG13, S. 297]. Die Leistungsfähigkeit einer Technologie folgt dabei im Allgemeinen einer sog. S-Kurve [SBA02, S. 70]. (3) Der intrinsische Produktlebenszyklus beleuchtet hingegen die produkteigenen Lebenszyklus-Phasen, die von der ersten Idee bis zum Recycling des Produkts reichen [GK12, S. 42], [GLR+00, S. 3]. Die vorliegende Arbeit nutzt die Sichtweise des intrinsischen Produktlebenszyklus, um die Rückführung von Betriebsdaten in die strategische Produktplanung zu untersuchen. Daher wird dieses Modell nachfolgend näher betrachtet.

Für den intrinsischen Produktlebenszyklus gibt es verschiedene Modelle, die sich inhaltlich im Wesentlichen gleichen, sich aber in der Benennung und Anzahl der Lebenszyklus-Phasen leicht unterscheiden. EIGNER und STELZER geben z. B. die Phasen Anforderungen, Produktplanung, Entwicklung, Prozessplanung, Produktion, Betrieb und Recycling an [ES09, S. 9]. GAUSEMEIER und KOKOSCHKA nennen die Phasen Strategische Produktplanung, Produktentwicklung, Produktionssystementwicklung, Fertigung, Distribution, Nutzung, Rücknahme/Entsorgung [GK12, S. 42]. TERZI ET AL. nennen in ihren frühen Arbeiten nur die vier Phasen Produktentwicklung, Produktproduktion, Produktbetrieb und Produktzerstörung/-recycling [TPM+07, S. 265]. Später erweitern sie diese jedoch zu den sechs Phasen Design, Herstellung, Distribution, Betrieb, Service, Ruhestand und organisieren diese unter den drei Hauptphasen Beginn des Produktlebens (Phase 1 und 2), Mitte des Produktlebens (Phase 3 bis 5) und Ende des Produktlebens (Phase 6) [TBD+10, S. 365].

Auf Basis dieser verschiedenen Modelle werden für die vorliegende Arbeit folgende sechs Phasen des intrinsischen Produktlebenszyklus definiert: Strategische Produktplanung, Produktentwicklung, Produktionssystementwicklung, Produktion & Logistik, Betrieb sowie Recycling. Diese Einteilung ist zweckmäßig, weil die sechs verwendeten Phasen klar unterscheidbar sind und die strategische Produktplanung sowie der Betrieb als eigene Phasen aufgeführt werden, da sie im Fokus der vorliegenden Arbeit stehen. Das resultierende Modell des intrinsischen Produktlebenszyklus ist in Bild 2-3 dargestellt.

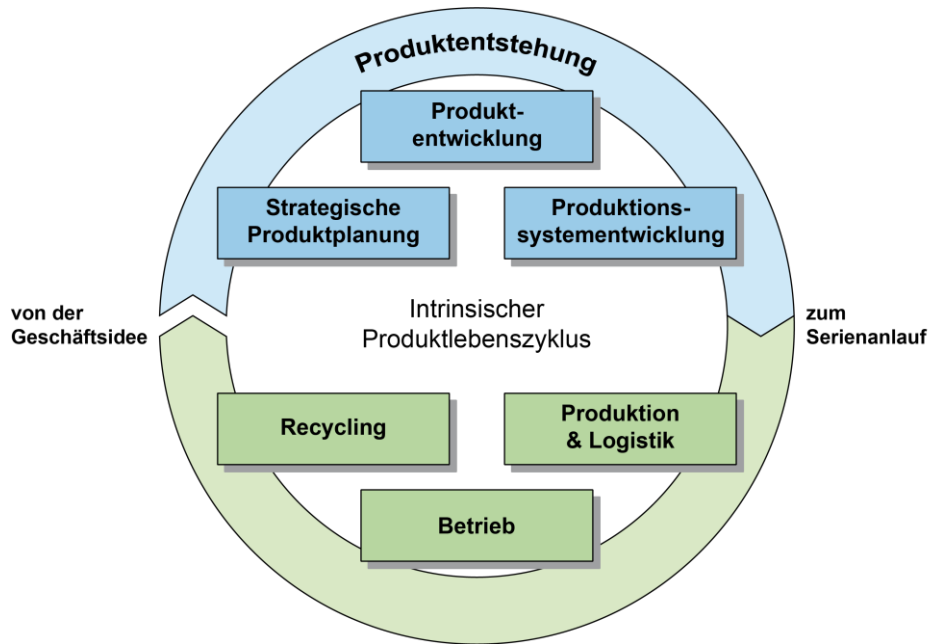


Bild 2-3: Modell des intrinsischen Produktlebenszyklus in Anlehnung an PEITZ [Pei15, S. 25]

Der Betrieb ist somit eine Phase im intrinsischen Lebenszyklus eines Produkts. Sie folgt nach der Produktion und Logistik und endet, wenn das Produkt außer Betrieb genommen und recycelt wird. In der Betriebsphase wird das Produkt vom Kunden – wie es der Name der Phase schon verrät – betrieben bzw. genutzt. Der in diesem Abschnitt abzugrenzende Begriff der Betriebsdaten bezeichnet daher Daten, die in der Betriebsphase des Produkts entstehen. Im Kontext der industriellen Produktion versteht ROSCHMANN darunter z. B. die Daten, die an einer Produktionsmaschine anfallen oder von ihr verwendet werden, während sie an der Produktion anderer Produkte beteiligt ist. Dabei unterscheidet er technische und organisatorische Betriebsdaten, die über den Betrieb der Produktionsmaschine oder sogar die gesamte Produktion Auskunft geben [Ros87, S. 89]. Als Beispiele für Betriebsdaten nennt er Angaben über produzierte Mengen und Zustände von Produktionsmaschinen. Das gleiche Begriffsverständnis präsentiert BERGHÄUSER [Ber93, S. 90f.]. KERNLER nennt Auftrags-, Maschinen-, Personal-, Bestands- und Qualitätsdaten als Beispiele für Betriebsdaten [Ker96, S. 7].

In der Literatur haben sich neben dem Betriebsdaten-Begriff weitere Begriffe etabliert, die mehr oder weniger synonym verwendet werden. Z. B. bezeichnen SCHMITT und PFEIFFER solche Daten als Felddaten, die aus der Interaktion von Kunden und Produkten im sogenannten Feld entstehen [SP15, S. 250]. Felddatenquellen sind die Kunden (z. B. durch das Einreichen von Reklamationen), der Service (z. B. durch das Anfertigen von Serviceberichten) und automatische Erfassungseinrichtungen (z. B. durch die Ausgabe von Fehlermeldungen) [SP15, S. 250]. EDLER versteht unter Felddaten alle Daten, die „im Zusammenhang mit der Nutzung eines Produkts im Feld oder der Inanspruchnahme einer Dienstleistung durch den Kunden anfallen“ [Edl01, S. 5]. Darunter fasst er neben Fehler- und Störmeldungen auch Nutzungsdaten (z. B. Betriebsstoffverbräuche) sowie Nutzer-

bzw. Bedienerückmeldungen (z. B. Verbesserungsvorschläge), die in Anforderungen an die nächste Produktgeneration münden können. KREUTZER baut auf diesen Definitionen auf und nennt solche Daten Felddaten, die nach dem Verkaufszeitpunkt des Produkts generiert werden [Kre19, S. 13]. Er grenzt sie von den Zustandsdaten ab, unter denen er die Daten versteht, die während des Produktentstehungsprozesses bis zum Verkaufszeitpunkt entstehen.

Andere Synonyme des Betriebsdaten-Begriffs betonen mit ihrem Namen mehr die eigentliche Nutzung der Produkte und nicht das Feld als Ort der Datensammlung und -entstehung. HOLLER ET AL. sowie RIESENER ET AL. sprechen im Kontext intelligenter Produkte bzw. cyber-physischer Systeme z. B. von Nutzungsdaten (engl. usage data) [HSU+16, S. 479ff.], [RDL+21, S. 1ff.]. Dieser Begriff betont, dass die Daten im Rahmen der Nutzung der Produkte durch die Kunden entstehen. WILBERG ET AL. verwenden einen sehr ähnlichen Begriff: Sie bezeichnen die Daten als Nutzungsphasen-Daten (engl. use phase data) [WFH+18, S. 1441ff.], [WKF+18, S. 1ff.]. Mit diesem Begriff wird wiederum der zeitliche Aspekt der Nutzungsphase hervorgehoben. Im Automobil-Kontext bezeichnen BALASUBRAMANIAN ET AL. die in der Betriebsphase generierten Daten in Anlehnung an die von ihnen betrachteten Produkte als Autodaten (engl. car data) [BBC+16, S. 5].

Trotz des Schwerpunkts auf die Produktnutzung der beiden Begriffe unterscheiden sich die angegebenen Beispiele für Daten nicht besonders von denen, die bereits für andere Begriffe aufgeführt wurden. Die Autoren nennen z. B. Fehlerberichte, Sensordaten und Nutzerpräferenzen als Beispiele für Nutzungsdaten bzw. Nutzungsphasendaten [BBC+16, S. 9], [HSU+16, S. 482f.].

Aufgrund der Ähnlichkeit der Definitionen und der jeweils aufgeführten Beispiele wird deutlich, dass die Autoren mit den unterschiedlichen Begriffen die gleichen Daten bezeichnen. Es handelt sich somit um Synonyme. Für die vorliegende Arbeit wird unter Betriebsdaten Folgendes verstanden:

Betriebsdaten sind Daten, die in der Betriebsphase des Produktlebenszyklus eines Produkts entstehen und mit dem Betrieb bzw. der Nutzung des Produkts zusammenhängen.

Diese Definition nimmt zwei Einschränkungen vor, die für die vorliegende Arbeit relevant sind: Zum einen müssen Betriebsdaten in der Betriebsphase des betrachteten Produkts entstehen. Dies erklärt sich bereits aus der Herleitung über den Produktlebenszyklus. Zum anderen muss die Datenentstehung aber auch mit dem Betrieb bzw. der Nutzung des betrachteten Produkts zusammenhängen. Mit dieser Einschränkung wird sichergestellt, dass nicht alle in der Betriebsphase anfallenden Daten zu Betriebsdaten des betrachteten Produkts erklärt werden.

2.1.5 Data Analytics

Die Relevanz und Popularität des Forschungsfelds *Data Analytics* (DA) haben in den vergangenen Jahrzehnten massiv zugenommen. So sind in der größten Datenbank für peer-reviewte Literatur SCOPUS (<https://www.scopus.com/>) für das Jahr 2003 z. B. nur 2 Publikationen zu finden, die den Term *Data Analytics* in Titel, Abstract oder Keywords tragen. Im Jahr 2012 traf dies nach Angaben der Datenbank das erste Mal für mehr als 100 peer-reviewte Publikationen zu. Im Anschluss folgte eine rasante Steigerung der Publikationszahlen: Bereits für 2015 sind über 1.000 Publikationen vermerkt. Seit 2019 werden jährlich um die 4.000 peer-reviewte Publikationen zu Data Analytics gelistet. Bild 2-4 zeigt den Verlauf der Publikationszahlen von 2003 bis 2022.

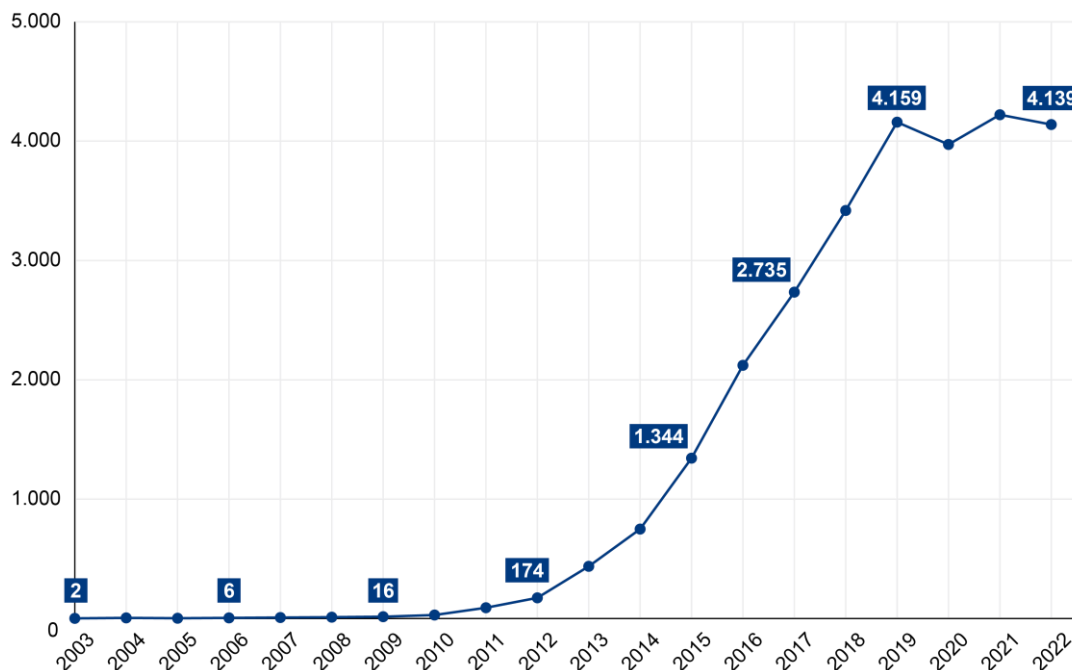


Bild 2-4: Anzahl der von GOOGLE SCHOLAR gelisteten Publikationen zu Data Analytics von 2003 bis 2022

In Folge der seit einigen Jahren großen Popularität des Themenfeldes existieren unzählige Definitionen und Abgrenzungen des Begriffs Data Analytics. Eine Analyse zeigt, dass die Definitionen im Wesentlichen drei Perspektiven auf den Begriff beinhalten.

Die zweckorientierte Perspektive stellt den Zweck des Data-Analytics-Einsatzes in den Fokus. Nach TYAGI wird Data Analytics eingesetzt, um vergangene Leistungen und Verhaltensweisen zu verstehen und zukünftige Ergebnisse vorherzusagen oder zu steuern. Dies geschieht durch die Transformation von Daten zu Wissen, mit welchem Entscheidungsprozesse effektiver gestaltet werden können [Tya03, S. 12]. Ähnlich beschreiben es CHONG und SHI, die die Extraktion von Informationen aus zahlreichen Datenquellen vornehmlich als Mittel zum Zweck sehen, Entscheidungsprozesse besser zu unterstützen und Vorhersagen zu treffen [CS15, S. 185]. Data Analytics wird somit zu einem Instrument,

das zunächst der Wissensgenerierung und darauf aufbauend der Entscheidungsunterstützung dient. Dazu ergänzen PORTER und HEPPELMANN, dass Data Analytics vor allem auf die Generierung solcher Erkenntnisse abzielt, die zu Wettbewerbsvorteilen führen [PH15, S. 101]. Diese sollen durch die Aufdeckung bisher unbekannter Zusammenhänge und Muster in großen Datensätzen erzielt werden [EE14, S. 222].

Die prozessorientierte Perspektive beschreibt, welche und wie viele Teilprozesse Data Analytics umfasst. Dabei gibt es in der Literatur jedoch keinen Konsens. Autoren wie ELGENDY und ELRAGAL folgen einer engen Definition, die den Fokus auf die Anwendung fortgeschrittener Analytics-Techniken auf große Datensätze legt [EE14, S. 215]. Andere Autoren wie TYAGI setzen in ihrer Definition früher an, indem sie vor der Datenanalyse auch den Datenzugriff und die -aggregation großer Datenmengen aus unterschiedlichen Quellen als Teilprozesse betrachten [Tya03, S. 12]. Mit der expliziten Ergänzung der Nutzung bzw. Verwertung, die sich an die Analyse anschließt, wird die umfassendste prozessorientierte Definition von Data Analytics erzielt. Diese Definition geben z. B. LUTHE ET AL. im industriellen Kontext an [LPW+16, S. 14].

Die ursprungsorientierte Perspektive erklärt Data Analytics mit Hilfe der Teildisziplinen, aus denen sich das neue Forschungsfeld zusammensetzt. So beschreibt RUNKLER Data Analytics als ein interdisziplinäres Feld, das Elemente aus den Forschungsdisziplinen Statistik, Machine Learning, Mustererkennung, Systemtheorie, Operations Research und Künstliche Intelligenz übernommen hat [Run20, S. 2]. PORTER und HEPPELMANN merken an, dass Data Analytics eine Mischung aus Mathematik, Informatik und Geschäftsanalysen ist und auf die Generierung wertvoller Erkenntnisse abzielt [PH15, S. 101]. Schließlich heben REINHART sowie KÜHN ET AL. außerdem die Bedeutung des jeweiligen Anwendungsfeldes (z. B. das produzierende Gewerbe) hervor [Rei16, S. 30], [KJR+18, S. 163].

Bild 2-5 fasst die drei Definitions-Perspektiven auf Data Analytics zusammen.

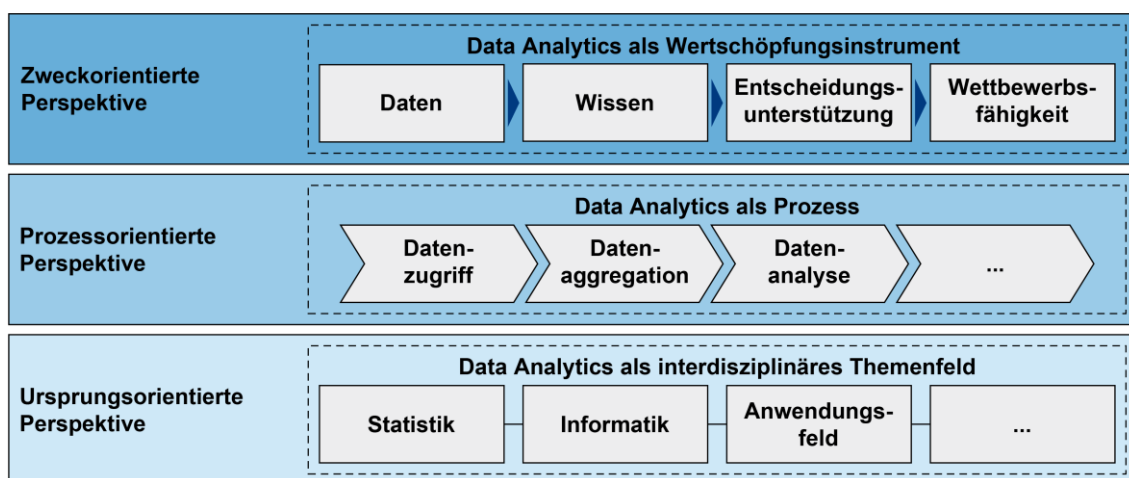


Bild 2-5: Die drei Definitions-Perspektiven auf Data Analytics

Bei der Untersuchung des Begriffs Data Analytics in der Literatur fällt auf, dass der Begriff immer wieder um Zusätze erweitert wird, mit denen eine Betonung oder eine Einschränkung vorgenommen wird. Z. B. wird in zahlreichen Publikationen von **Big Data Analytics** geschrieben (z. B. in [EE14], [CS15], [TLC+15] und [BZC+19]), um zu betonen, dass Data Analytics im Kontext von Big Data angewendet wird. Big Data unterscheidet sich immens von herkömmlichen Daten und kann nach MCAFEE und BRYNJOLFSSON insbesondere durch drei Eigenschaften (3V-Modell)⁴ charakterisiert werden [MB12, S. 63f.]: (1) **Volume** beschreibt das große verfügbare Datenvolumen; (2) **Velocity** kennzeichnet die hohe Geschwindigkeit der Datenentstehung; (3) **Variety** steht für die hohe Heterogenität der Daten. Mit diesen Eigenschaften bringt Big Data inhärente Herausforderungen mit sich, die einen neuen Ansatz zur Wissensgenerierung aus Daten erfordern, namentlich Big Data Analytics. Es soll jedoch festgehalten werden, dass die meisten Datensätze, die allgemein als Big Data anerkannt sind, nicht alle Eigenschaften von Big Data erfüllen. KITCHIN und MCARDLE zeigen vielmehr, dass Big Data verschiedene Formen annehmen kann und insbesondere das Datenvolumen sowie die -heterogenität keine notwendigen Bedingungen für Big Data darstellen – im Gegensatz z. B. zur Geschwindigkeit der Datenentstehung [KM16, S. 9].

Ein weiterer Begriffszusatz kommt regelmäßig vor, wenn die Anwendung von Data Analytics im produzierenden Gewerbe betrachtet wird. Viele Autoren sprechen dann von **Industrial Data Analytics** (z. B. [LPW+16], [SSE+14], [EGV+18] und [KJ21]) und betonen damit die Besonderheiten der Anwendung von Data Analytics in diesem Anwendungsfeld, die eine Abgrenzung zu anderen Feldern notwendig machen. DAI ET AL. demonstrieren z. B. in einer Gegenüberstellung mit dem Consumer-Anwendungsfeld, dass sich das produzierende Gewerbe unter anderem im Hinblick auf die Datenquellen, die Umgebungsbedingungen der Datenaufnahme sowie die Datenraten stark unterscheidet und dies Auswirkungen auf die Anwendung von Data Analytics hat [DWX+20, S. 1281].

Auf Basis dieser Ausführungen wird folgende Definition von Data Analytics angesetzt:

Data Analytics bezeichnet einen umfassenden Ansatz zur Datenvorbereitung, -analyse und -verwertung, der darauf abzielt, Wissen zu generieren, Entscheidungssituationen zu unterstützen und die Wettbewerbsfähigkeit von Unternehmen zu steigern. Die untersuchten Daten können dabei Eigenschaften von Big Data aufweisen, müssen dies aber nicht zwingend.

Diese Definition umfasst die prozessorientierte sowie die zweckorientierte Perspektive auf Data Analytics. Damit soll zum einen festgehalten werden, dass der Prozess bestehend aus Datenvorbereitung, -analyse und -verwertung ein komplexes und aufwendiges Unter-

⁴ Das klassische 3V-Modell wurde über die Jahre um immer mehr V's erweitert. Die geläufigsten sind dabei **Veracity** (Datenqualität) und **Value** (Wert der Daten) [Lyc13, S. 381], [EBU14, S. 3749]. Das ursprüngliche Modell ist jedoch am weitesten verbreitet und wird daher hier aufgegriffen.

fangen ist, das einen umfassenden Lösungsansatz erfordert. Zum anderen soll betont werden, dass die Untersuchung der Daten keinen Selbstzweck darstellen darf, sondern stets zielgerichtet eingesetzt werden soll. Die Teildisziplinen von Data Analytics spielen im Rahmen der vorliegenden Arbeit nur eine untergeordnete Rolle und finden deshalb in der Definition keine Berücksichtigung. Der abschließende Verweis auf die Eigenschaften der Daten stellt klar, dass Data Analytics auch im Kontext von Daten angewendet werden kann, die nicht alle formalen Eigenschaften von Big Data vollständig und streng erfüllen, da dies in der Praxis üblich und akzeptiert ist [KM16, S. 9].

2.2 Bedarf und Treiber der Betriebsdaten-gestützten Produktplanung

Das Thema der vorliegenden Arbeit liegt im Schnittpunkt dreier eigenständiger Forschungsfelder: Strategische Produktplanung, Digitalisierung von Produkten sowie Data Analytics. Um sich dem Thema der Arbeit zu nähern, werden die drei Forschungsfelder im Folgenden zunächst separat betrachtet. In Abschnitt 2.2.1 werden Herausforderungen der strategischen Planung neuer Produktgenerationen beschrieben und es wird gezeigt, wieso ein neuer Ansatz für die Identifizierung von Verbesserungspotentialen für neue Produktgenerationen erforderlich ist. Abschnitt 2.2.2 stellt die Entwicklung und die Potentiale moderner Produkte dar, die in Folge der Digitalisierung zu kontinuierlichen Betriebsdatenquellen werden. Abschließend widmet sich Abschnitt 2.2.3 der Entwicklung und den Potentialen von Data Analytics und zeigt dabei auf, wie Letztere bereits heute zur Schaffung von Wettbewerbsvorteilen genutzt werden.

2.2.1 Herausforderungen der strategischen Planung neuer Produktgenerationen

Seit Jahrzehnten widmen sich zahlreiche wissenschaftliche Untersuchungen der Frage, was **erfolgreiche Produkte** ausmacht. In einer umfassenden Studie mit 203 Fällen haben COOPER und KLEINSCHMIDT z. B. bereits in den 1980er-Jahren herausgefunden, dass die Aktivitäten vor der eigentlichen Produktentwicklung maßgeblich über den Erfolg neuer Produkte entscheiden [CK86, S. 81ff.]. Unter anderem VERWORN ET AL. haben diese Erkenntnisse über 20 Jahre später bestätigt [VHN08, S. 8f.]. In der Literatur werden diese entscheidenden Aktivitäten als strategische Produktplanung [GDE+19, S. 90], Phase Null (engl. phase zero) der Produktentwicklung [UE16, S. 13] oder Fuzzy Front End [KAB+01, S. 46], [KW02, S. 269], [HV04, S. 348], [GS14, S. 4] bezeichnet. Bereits in dieser Phase muss sichergestellt werden, dass die neuen Produkte klare Differenzierungsmerkmale gegenüber der Konkurrenz aufweisen und ihr somit überlegen sind. Dies kann z. B. durch ein einzigartiges und überzeugendes Nutzenversprechen, die Erfüllung von Kundenbedarfen oder eine ausgezeichnete Produktqualität erreicht werden [Coo19, S. 37]. Um diese Differenzierung und Überlegenheit zu erreichen, ist eine starke Markt- und Kundenorientierung unerlässlich [CEK04a, S. 49], [Coo19, S. 37f.], [Gri97, S. 434].

Es ist demnach von zentraler Bedeutung, die Erwartungen und Bedürfnisse der Kunden zu kennen und diese in das Produkt einfließen zu lassen.

In der Realität unterliegen jedoch sowohl Märkte als auch Kundenerwartungen und -bedürfnisse einer hohen Dynamik. Diese **Marktdynamik** erklärt PORTER's Fünf-Kräfte-Modell [Por79, S. 137f.]. Es beschreibt, dass der Wettbewerb in einer Branche von fünf Kräften geführt wird: (1) Bedrohung durch neue Marktteilnehmer, (2) Verhandlungsmacht der Zulieferer, (3) Verhandlungsmacht der Abnehmer, (4) Einfluss alternativer Produkte und (5) Konkurrenzdruck unter den etablierten Wettbewerbern innerhalb der Branche [Por79, S. 137f.]. Wie GRUNDY zeigt, müssen die fünf Kräfte nicht als isolierte Einheiten, sondern als komplexes System verstanden werden, welche starke interne Wechselwirkungen untereinander verursachen [Gru06, S. 217f.]. Dies hat zur Folge, dass die Variation einer Kraft des Modells zu einer Variation aller Kräfte führt. Märkte befinden sich demnach in einer steten Dynamik und entwickeln sich kontinuierlich weiter.

Zur Erklärung der **Dynamik der Kundenerwartungen und -bedürfnisse** dient das sogenannte KANO-Modell [KST+84, S. 39ff.]. Dieses Modell klassifiziert Produktattribute in die Klassen Begeisterungsattribute, Leistungsattribute und Schwellenattribute. Während eine Leistungssteigerung bei Begeisterungsattributen zu einem überproportionalen Anstieg der Kundenzufriedenheit führt, steigt die Kundenzufriedenheit bei Leistungsattributen proportional an. Bei Schwellenattributen verhindert eine Leistungssteigerung lediglich die Kundenunzufriedenheit, kann aber nicht zu einer Steigerung der Kundenzufriedenheit beitragen. Die Zuordnung eines Attributs zu einer Klasse ist immer nur eine Momentaufnahme, die sich mit der Zeit verändert. Begeisterungsattribute werden so im Laufe der Zeit zunächst zu Leistungs- und abschließend zu Schwellenattributen [KST+84, S. 39ff.]. Damit Produkte demnach langfristig Kundenzufriedenheit erzeugen, müssen sie immer wieder mit neuen Begeisterungsattributen versehen und somit verbessert werden. Bild 2-6 zeigt das KANO-Modell am Beispiel des Smartphones.

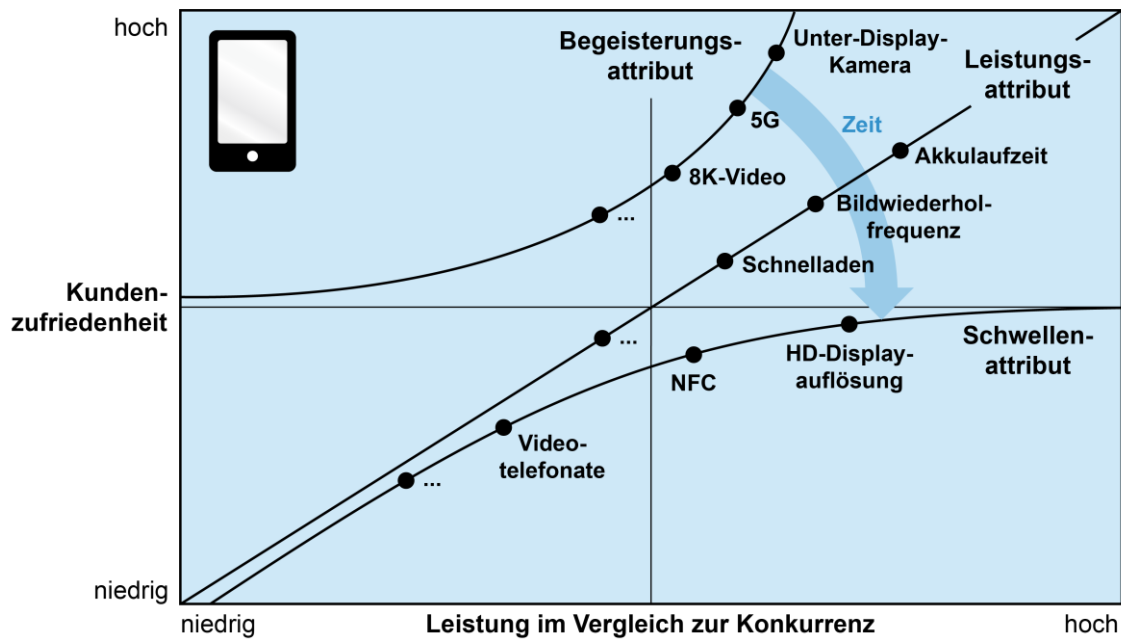


Bild 2-6: Kano-Modell am Beispiel des Smartphones in Anlehnung an GAUSEMEIER ET AL. [GDE+19, S. 101]

Das Fünf-Kräfte-Modell und das KANO-Modell zeigen also, dass Unternehmen sich nicht auf ihren heute erfolgreichen Produkten ausruhen können. Vielmehr müssen sie entweder ihre bestehenden Produkte immer wieder verbessern oder gänzlich neue Produkte auf den Markt bringen. In der Praxis zeigt sich, dass die **Verbesserung bestehender Produkte in Generationen** den größeren Stellenwert besitzt. So zeigen z. B. ALBERS ET AL. in einer quantitativen Studie mit 247 Ingenieuren, dass der Entwicklungsfokus der beteiligten Unternehmen zu 93% auf der Verbesserung bestehender Produkte liegt – von einfachen Anpassungen bis hin zu komplexeren Weiterentwicklungen mit höherem Neuentwicklungsanteil [ABU+14, S. 19]. Gänzlich neue Produkte geben demnach nur 7% der Befragten als Entwicklungsfokus ihres Unternehmens an. Zu einer ähnlichen Aussage kommen COOPER ET AL. in ihrer Benchmark-Studie: Nur 10% der Entwicklungsprojekte der 105 befragten Unternehmen adressieren Produkte, die als Weltneuheit bezeichnet werden können. Die übrigen 90% der Entwicklungsprojekte dienen somit der Verbesserung von Produkten, die bereits am Markt angeboten werden – vom eigenen oder von anderen Unternehmen [CEK04b, S. 52f.].

Dass die Verbesserung bestehender Produkte in Generationen einen hohen Stellenwert in der Praxis besitzt, lässt sich neben dem höheren Aufwand einer Neuentwicklung vor allem mit dem **Entwicklungsrisiko** erklären. So bringen insbesondere solche Entwicklungsprojekte ein sehr hohes Risiko mit sich, die einen hohen Neuentwicklungsanteil erfordern und sich dabei nur auf unternehmensexterne Referenzprodukte oder -lösungen⁵

⁵ Referenzprodukte oder -lösungen bezeichnen bereits existierende Produkte bzw. Lösungen, auf denen die Entwicklung einer neuen Produktgeneration aufbaut. Ihre systematische Identifizierung erlaubt die Wiederverwendung von vorhandenen Teilsystemen und verfügbarem Wissen [ABR17, S. 17].

beziehen können (z. B. auf Produkte aus anderen Branchen) [ARB+17, S. 351]. Im Umkehrschluss gilt: Je geringer der Neuentwicklungsanteil ist und je besser die Referenzprodukte oder -lösungen der Entwicklungsabteilung bekannt sind, desto geringer wird das Entwicklungsrisiko. Interessanterweise wird die Wissenschaft dem hohen Stellenwert der Produktverbesserung nicht gerecht: EVELEENS stellt in einer Analyse von 12 Vorgehensmodellen aus den Bereichen Produktplanung und -entwicklung sowie Innovationsmanagement fest, dass nur eines einen Schwerpunkt auf inkrementelle Innovationen legt. Sieben Modelle hingegen fokussieren radikalere Innovationen mit hohen Neuentwicklungsanteilen [Eve10, S. 6].

Vor diesem Hintergrund stellt sich die Frage, wie Unternehmen **Verbesserungspotentiale für neue Produktgenerationen in der Praxis identifizieren** und wie erfolgreich sie damit sind. Als Beispiele für Methoden zur Potential- und Ideenfindung nennt COOPER (1) Kundenbefragungen und Fokusgruppen-Interviews, (2) Befragungen von Vertrieb und Service sowie die Analyse von Vertriebs- und Serviceberichten, (3) Kreativitätsworkshops sowie Ideenwettbewerbe und (4) Vorschlaglisten für Mitarbeiter und Kunden [Coo88, S. 241f.]. EVELEENS schlägt Markt- und Technologiestudien sowie Maßnahmen zur internen und externen Ideenfindung vor [Eve10, S. 10]. Auch das Vordenken möglicher Szenarien innerhalb des Produktlebenszyklus (z. B. „Für welche Zwecke könnte das Produkt in Zukunft eingesetzt werden?“) kann die Suche nach Anforderungen und Verbesserungsideen unterstützen [PBF+05, S. 193]. Einen ausführlichen Überblick über Marktforschungsmethoden liefert LIST [Lis05, S. 1ff.].

Trotz der **Vielzahl an Methoden** haben Unternehmen **enorme Schwierigkeiten** in der Praxis. COOPER ET AL. zeigen beispielsweise, dass nur 19% der von ihnen untersuchten Unternehmen ihre Ideengenerierung als gut bewerten. Ergänzend dazu schreiben sich nur 18% der Unternehmen Stärken in den Bereichen Marktforschung und Kundenverständnis zu [CEK04a, S. 45]. Markt- und Kundenstudien werden oft als zu teuer, zeitaufwändig und wenig aussagekräftig für größere Kundengruppen angesehen [OP06, S. 66f.]. Da viele Unternehmen der Meinung sind, bereits vor der Durchführung einer solchen Studie zu wissen, was deren Ergebnis sein wird, verzichten sie gleich auf deren Durchführung [Coo99, S. 125]. Dies hat zur Folge, dass nur 11% der Produktdefinitionen auf Fakten aus Markt- und Kundenstudien basieren [CEK04a, S. 49] – obwohl eine faktenbasierte Produktdefinition vor der eigentlichen Entwicklung einen wesentlichen Erfolgstreiber darstellt [Coo19, S. 39]. In der Praxis hat sich jedoch gezeigt, dass in fast allen Produktentwicklungsprojekten Schlüsselannahmen falsch sind und diese den zukünftigen Produkterfolg gefährden [Coo99, S. 125f.]. Der sog. Zehnerregel (engl. rule of ten) folgend können diese Fehleinschätzungen hohe Änderungskosten zur Folge haben, die sich mit jeder weiteren Produktlebenszyklus-Phase verzehnfachen und den Produkterfolg damit massiv gefährden [LLW16, S. 760]. Es bedarf somit neuer Ansätze für die Identifizierung von Verbesserungspotentialen in der Praxis.

Einen prominenten Ansatz zur systematischen Identifizierung von Verbesserungspotentialen für neue Produktgenerationen stellt die **Rückkopplung von Daten und Informationen** aller Produktlebenszyklus-Phasen in die strategische Produktplanung dar. Dies beschreiben z. B. EHRENSPIEL und MEERKAMM im Kontext der integrierten Produktentwicklung [EM13, S. 202ff.]. Durch die Rückkopplung von Daten und Informationen von Vorgängergenerationen und anderen ähnlichen Referenzprodukten sollen die Planungsphase und insbesondere die Produktdefinition der nächsten Produktgeneration verbessert werden. Dabei kann zwischen der internen und der externen Daten- und Informations-Rückkopplung unterschieden werden. Die interne Rückkopplung findet von der Produktentwicklung, Produktionssystementwicklung sowie Produktion und Logistik zur strategischen Produktplanung statt. Die externe Rückkopplung fokussiert Daten und Informationen aus der Betriebs- und Recyclingphase der betrachteten Referenzprodukte. Das Konzept ist in Bild 2-7 dargestellt.

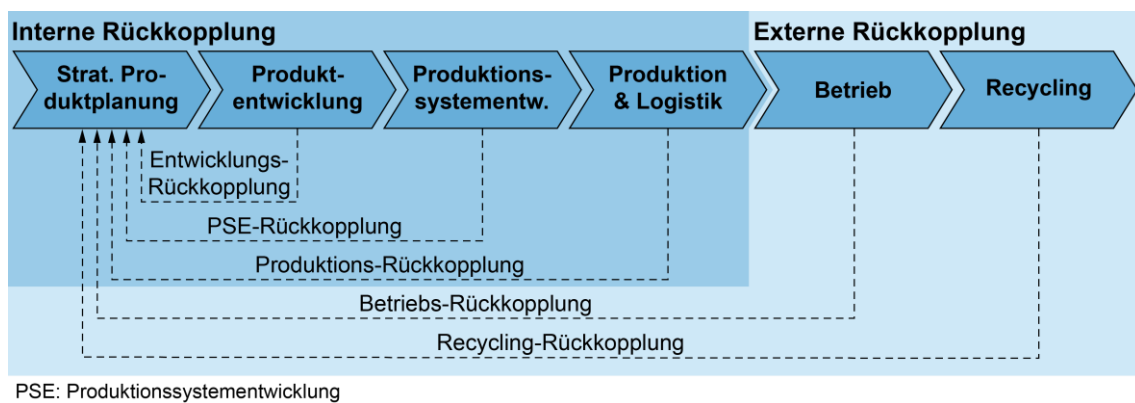


Bild 2-7: Interne und externe Rückkopplung von Daten und Informationen zur strategischen Produktplanung über den Produktlebenszyklus, eigene Darstellung aufbauend auf EHRENSPIEL und MEERKAMM [EM13, S. 202ff.]

Einen **besonders hohen Wert** für die Rückkopplung von Daten und Informationen besitzt die **Betriebsphase**. Während in den frühen Phasen wie der strategischen Produktplanung vorrangig qualitative Daten in geringen Mengen vorliegen, zeichnet sich die Betriebsphase durch die Verfügbarkeit großer Mengen quantitativer Daten aus [KW02, S. 270], [BB15, S. 804]. Betriebsdaten halten z. B. fest, wie das Produkt genutzt wird und wie es sich im Betrieb in unterschiedlichen Situationen verhält (siehe Abschnitt 2.1.4). Diese Daten ermöglichen erst die systematische Beurteilung der Produkteigenschaften, die bereits deutlich früher in der Planungsphase im Wesentlichen festgelegt wurden [EM13, S. 203], [RLH96, S. 44], [WD06, S. 135]. Bild 2-8 stellt den Verlauf von Beeinflussbarkeit und Beurteilbarkeit der Produkteigenschaften über den Produktlebenszyklus dar. Die Rückkopplung von Daten und Informationen aus dem Betrieb in die Produktplanung stellt somit einen Erfolg versprechenden Ansatz zur Identifizierung von Verbesserungspotentialen dar, dessen Potential bisher noch kaum ausgeschöpft wird [WPS+12, S. 79]. Vielmehr brechen die Daten- und Informationsflüsse kurz nach dem Verkauf eines Produkts regelmäßig ab [Kir11, S. 481]. Damit die Rückkopplung von Betriebsdaten und

-informationen in der Praxis erfolgreich eingesetzt werden kann, ist es wichtig, dass Unternehmen die Daten im Vergleich zu den etablierten Methoden (1) schnell und – im Idealfall – kontinuierlich erheben sowie analysieren können und dabei (2) nicht auf spezifische Marktforschungsexpertise angewiesen sind [KBN+12, S. 190], [Poy21, S. 405]. Welche Entwicklungen die Erfüllung dieser Forderungen unterstützen, wird in den folgenden Abschnitten beschrieben.

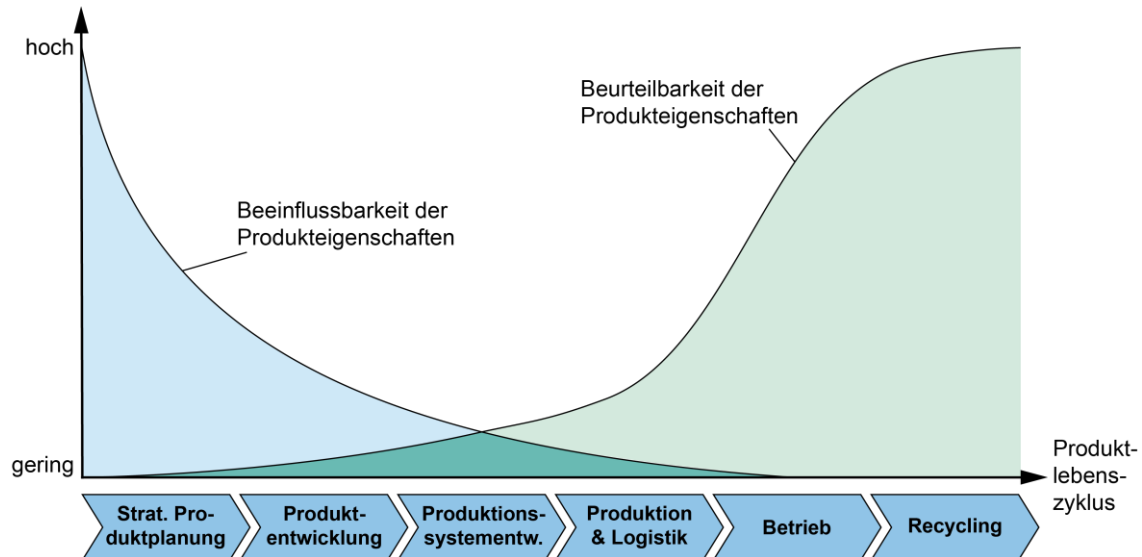


Bild 2-8: Beeinflussbarkeit und Beurteilbarkeit der Produkteigenschaften über den Produktlebenszyklus in Anlehnung an EHRENSPIEL und MEERKAMM [EM13, S. 203] sowie MACHAC und STEINER [MS14, S. 1152]

Fazit: Die Verbesserung bestehender Produkte in Form neuer Produktgenerationen stellt eine Voraussetzung für nachhaltigen Produkterfolg dar. In der Praxis zeigt sich jedoch, dass viele Unternehmen Schwierigkeiten haben, systematisch Verbesserungspotentiale zu identifizieren. Als besonders Erfolg versprechend stellt sich die Rückkopplung von Daten und Informationen aus der Betriebsphase bestehender Produkte heraus. Diese erlauben die tatsächliche Beurteilbarkeit der Produkteigenschaften und eröffnen damit neue Möglichkeiten für die Identifizierung von Verbesserungspotentialen für neue Produktgenerationen.

2.2.2 Entwicklung und Potentiale moderner Produkte

Wie im vorherigen Abschnitt gezeigt wird, benötigt die strategische Produktplanung umfangreiche Daten und Informationen aus dem Betrieb bestehender Produktgenerationen. Eine neue Quelle für diese Daten sind die Produkte selbst. Diese haben sich in Folge des technologischen Fortschritts in den letzten Jahrzehnten drastisch verändert.

Den Ausgangspunkt dieser Entwicklung bilden **mechatronische Produkte bzw. Systeme**⁶. Der Begriff *Mechatronik* wurde im Jahr 1969 von KO KIKUCHI geprägt, dem späteren Präsidenten der japanischen YASKAWA ELECTRIC CORPORATION [Com94, S. 46]. Bis zum Ende der 1970er-Jahre beschrieb der Begriff vor allem die Kombination von Mechanik und Elektrik bzw. Elektronik [HTF96, S. 1]. In den 1980er-Jahren wurde dieses Verständnis um die Informationstechnik erweitert. In Folge rasanter Leistungssteigerungen im Bereich der Mikroprozessoren war es nunmehr möglich, deutlich anspruchsvollere Produkte und Anwendungen zu realisieren [Com94, S. 46]. Dieser Dreiklang aus Mechanik, Elektrik bzw. Elektronik und Informationstechnik hat bis heute Bestand: Nach ISERMANN bestehen mechatronische Systeme aus mechanischen, elektronischen und informationstechnischen Subsystemen, die mittels Hardware oder Software integriert sind [Ise08, S. 18]. Mit Integration ist dabei insbesondere auch der integrierte Entwurf und die Fertigung mechatronischer Systeme gemeint, welche über die reine Funktions- und Bauteilintegration hinausgehen [HTF96, S. 1f.], [VDI2206, S. 11].

Das Zusammenspiel der drei Teildisziplinen zeigt sich auch in der **Grundstruktur mechatronischer Systeme**: Diese besteht aus dem Grundsystem, der Sensorik, der Aktorik sowie der Informationsverarbeitung [VDI2206, S. 14], [Wal95, S. 36f.]. Das Grundsystem setzt sich je nach Funktionalität aus mechanischen, hydraulischen, pneumatischen, magnetischen, optischen oder anderen Subsystemen zusammen. Mit der Sensorik werden ausgewählte Zustandsgrößen des Grundsystems und der Umgebung aufgenommen [VDI2206, S. 14]. Die Informationsverarbeitung nimmt die Messgrößen auf, verarbeitet sie und berechnet die erforderlichen Einwirkungen auf die Zustandsgrößen. Sie kann dabei als nicht-kognitive Regulierung beschrieben werden, da Sensorik und Aktorik starr gekoppelt sind und kein Lernvorgang stattfindet [Dum11, S. 28f.], [Str98, S. 94]. Die berechneten Einwirkungen in Form von Stellgrößen werden mit der Aktorik realisiert, wodurch die Zustandsgrößen in einen gewünschten Zielzustand gebracht werden [VDI2206, S. 15]. Gemeinsam bilden Grundsystem, Sensorik, Informationsverarbeitung und Aktorik einen systeminternen Regelkreis [ADG+14, S. 27], in dem Stoff-, Energie- sowie Signal- bzw. Informationsflüsse wirken [FG13, S. 240f.]. Mit einer Mensch-Maschine-Schnittstelle werden Informationen zwischen dem Bediener und dem mechatronischen System übermittelt [VDI2206, S. 16].

Wird die Informationsverarbeitung der mechatronischen Systeme um eine assoziative und eine kognitive Regulierung erweitert, wird von **intelligenten technischen Systemen** (ITS) gesprochen [GEA16, S. 9]. Während die nicht-kognitive Regulierung wie oben beschrieben starr und nicht lernfähig ist, umfasst die assoziative Regulierung unter anderem Reiz-Reaktions-Mechanismen sowie Konditionierung, welche das System lernfähig machen. Die kognitive Regulierung wiederum beinhaltet die Aufnahme, Verarbeitung und Speicherung von Informationen in einem Gedächtnis sowie die spätere Anwendung und

⁶ Der System-Begriff wird in diesem Abschnitt synonym zum Produkt-Begriff verwendet, um zu verdeutlichen, dass Produkte in Form mechatronischer, intelligenter technischer und cyber-physischer Systeme immer aus mehreren Subsystemen bestehen, die nur gemeinsam den Zweck des Produkts erfüllen können.

Die **digitalen Netzinfrastrukturen**, zu denen CPS eine Verbindung herstellen können, haben in den letzten Jahrzehnten ebenfalls einen rasanten technologischen Fortschritt erlebt, der die Ausschöpfung der Nutzenpotentiale von CPS erst ermöglicht. In diesem Kontext ist vor allem das **Cloud Computing** zu nennen, welches nach VAQUERO ET AL. virtualisierte Ressourcen wie Speicher- und Rechenkapazitäten, Entwicklungsumgebungen und Softwareanwendungen dynamisch rekonfigurierbar und skalierbar bereitstellen kann [VRC+08, S. 51]. Cloud Computing ermöglicht so etwa die Speicherung, die Zusammenfassung und das Teilen von Betriebsdaten geografisch verteilter CPS [APC+16, S. 566], [ASG+16, S. 564]. Realisiert werden diese Funktionen z. B. auf IT-Plattformen, die in der Cloud betrieben werden und neben der Datenspeicherung und -verwaltung auch weitere Bausteine wie Echtzeit-Algorithmik und Sicherheitstechnologien mitbringen [Aa15, S. 20]. Außerdem können mit Cloud Computing und IT-Plattformen Konzepte wie der digitale Schatten und der digitale Zwilling umgesetzt werden [AKN20, S. 153], auch über ganze Flotten verteilter CPS [QZL+18, S. 6]. Der digitale Schatten bezeichnet dabei das virtuelle Abbild der Betriebsdaten einer CPS-Instanz, mit dem der digitale Zwilling – das virtuelle Abbild des physischen Zustands der gleichen Instanz – z. B. bei Simulationen unterstützt wird [BGA+21, S. 82]. Cloud Computing sowie die damit realisierten Anwendungen wie IT-Plattformen und digitale Schatten stellen somit eine Möglichkeit dar, die von CPS bereitgestellten Daten systematisch zu speichern und für die weitere Verwertung bereitzuhalten.

Aus dieser parallelen Entwicklung von CPS und digitalen Netzinfrastrukturen ergeben sich vielfältige Innovationspotentiale [Bro10, S. 17]. BALTUTTIS ET AL. unterscheiden dabei **zwei Nutzenkategorien**, die sich Unternehmen durch die Verbindung ihrer Produkte mit dem Internet ergeben [BHJ+22, S. 249ff.]:

- (1) Der *Frontstage-Nutzen für Endkunden* umfasst die direkte Nutzensteigerung des betrachteten Produkts. Dabei geht es z. B. um die Personalisierung von Features des Produkts. Von diesem Nutzen profitieren die Endkunden unmittelbar [BHJ+22, S. 254].
- (2) Der *Backstage-Nutzen für Hersteller* bezieht sich auf die Generierung von Wissen über den Betrieb der Produkte sowie über die Kunden. Dies geschieht durch eine gezielte Datenaufnahme und -analyse im Betrieb des Produkts. Mit dem generierten Wissen können Hersteller zukünftige Produkte datenbasiert verbessern. Endkunden profitieren von diesem Nutzen erst in Zukunft [BHJ+22, S. 254].

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit steht der Backstage-Nutzen für Hersteller im Vordergrund. In diesem Kontext stellt sich die Frage, wie aus den CPS-Betriebsdaten relevantes Wissen für die Verbesserung neuer Produktgenerationen gewonnen werden kann. Entwicklungen und Ansätze dazu werden im folgenden Abschnitt dargestellt.

Fazit: Durch den Wandel der Produkte von mechatronischen zu cyber-physischen Systemen sowie die Fortschritte im Cloud Computing stehen produzierenden Unternehmen immer größere Mengen an Betriebsdaten zur Verfügung. Die Analyse dieser verspricht

interessante Erkenntnisse über die Betriebsphase der Produkte, die wiederum den Ausgangspunkt für innovative neue Produktgenerationen bilden können. Für produzierende Unternehmen wird es daher von zentraler Bedeutung sein, (1) Produkte bewusst auch als Betriebsdatenquellen zu betrachten und (2) Betriebsdaten als neue Innovationsquelle zu verstehen.

2.2.3 Entwicklung und Potentiale von Data Analytics

Mit der immer weiter steigenden Verfügbarkeit von Betriebsdaten cyber-physischer Systeme stellt sich für produzierende Unternehmen die Frage, wie sie diese großen Datenmengen systematisch und zielgerichtet analysieren können. Ein Erfolg versprechender Ansatz dafür ist Data Analytics. DA verspricht die Generierung von Wissen, die Unterstützung von Entscheidungssituationen und die Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit von Unternehmen (Abschnitt 2.1.5). Die computergestützte Analyse von Daten ist jedoch keineswegs neu. DAVENPORT⁸ teilt die Evolution von DA in drei Epochen ein [Dav13, S. 66ff.]:

- (1) **Analytics 1.0 – Die Business-Intelligence-Ära:** Die Verfügbarkeit von Produktions-, Vertriebs- und weiteren Kennzahlen ab Mitte der 1950er-Jahre erlaubte Unternehmen erstmalig, Entscheidungen auf Basis von Datenanalysen zu treffen. Die kleinen und regelmäßig generierten Datensätze wurden in klassischen Datenbanken gespeichert. Jede Datenanalyse war mit einem großen Aufwand verbunden, der zu großen Teilen in der Datenvorbereitung lag [Dav13, S. 66]. Mit Tabellenkalkulationsprogrammen wie *Microsoft Excel* wurde es jeder Person möglich, Daten zu analysieren [BSG12, S. 32]. Darüber hinaus entstanden in den 1980er- und 1990er-Jahren mit *Knowledge Discovery in Databases* (KDD) und *Data Mining* auch erste Ansätze für die Wissensgenerierung aus großen Datenmengen [Lov83, S. 1], [Pia90, S. 68ff.], [FPS96a, S. 39], [Coe11, S. 25].
- (2) **Analytics 2.0 – Die Big-Data-Ära:** Mitte der 2000er-Jahre begannen Internet-Unternehmen, große Mengen neuer Daten anzusammeln, z. B. aus Nutzeranalysen im Internet – und mit neuen, leistungsstarken Tools zu analysieren. Aufgrund der großen Datenmengen waren einzelne Server nicht mehr leistungsfähig genug, die geforderten Datenanalysen durchzuführen. Stattdessen wurden die notwendige Rechenleistung und der Speicherbedarf mit dem HADOOP-Framework sowie einer neuen Klasse von Datenbanken – NOSQL – auf tausende parallele Server (sog. Cluster) verteilt [Whi12, S. 3f.], [SKR+10, S. 1], [SD12, S. 21]. In Folge dieser Entwicklungen verlagerten sich Datenspeicherung und -analyse größtenteils in neue Cloud-Umgebungen [Dav13, S. 66f.].
- (3) **Analytics 3.0 – Die Ära der datengestützten Marktleistungen:** Seit Anfang der 2010er-Jahre zeigt sich eine weitere signifikante Entwicklung, die im Kern zwei Aspekte betrifft. Erstens liegt der Einsatz von Data Analytics nicht mehr exklusiv

⁸ Weitere, größtenteils ähnliche Einteilungen finden sich unter anderem in [SB22, S. 1168ff.], [LPW+16, S. 15f.], [Lee17, S. 296ff.], [EA21, S. 11ff.] sowie [VPK18, S. 13ff.].

bei den Internet-Unternehmen. Vielmehr beschäftigen sich Unternehmen aller Branchen mit der Sammlung und Analyse der Daten, die ihnen mittlerweile in immer größeren Mengen zur Verfügung stehen. Zweitens werden die Datenanalysen nicht mehr nur für die Unterstützung rein interner Geschäftsprozesse genutzt, sondern vermehrt für die Planung und Entwicklung verbesserter Produkte und Services. Damit wird Data Analytics zu einem zentralen Element jeglicher Geschäftsentscheidungen [Dav13, S. 67f.]. Das enorme Potential dieser Ära betont auch die EUROPÄISCHE KOMMISSION: In ihrer europäischen Datenstrategie beschreibt sie Daten als „*Lebensader der wirtschaftlichen Entwicklung*“ und „*Grundlage für viele neue Produkte und Dienstleistungen*“ [Eur20, S. 3].

Die systematische Analyse von Daten hat sich somit in den letzten 70 Jahren von einer aufwendigen Nischenanwendung zu einem kritischen Wettbewerbsfaktor entwickelt. Neben stetig gestiegenen Datenmengen hängt dies auch mit der Leistungsfähigkeit der Datenanalysen zusammen. Im Gegensatz zu den anfänglichen Analysen, die fast ausschließlich Reports mit vergangenheitsbezogenen Statistiken als Ergebnis lieferten [Dav13, S. 66], bietet DA heutzutage deutlich umfangreichere Möglichkeiten. STEENSTRUP ET AL. fassen **vier Leistungsklassen von DA** in einem Stufenmodell zusammen: Demnach können Daten deskriptiv (*Was ist passiert?*), diagnostisch (*Warum ist es passiert?*), prädiktiv (*Was wird passieren?*) oder präskriptiv (*Wie soll ich handeln?*) analysiert werden [SSE+14, S. 11f.]. Mit steigender Leistungsklasse sinkt dabei der menschliche Beitrag zur Entscheidungsfindung. Bei deskriptiven, diagnostischen und prädiktiven Analysen müssen Menschen Entscheidungen noch selbst herausarbeiten und werden durch die Datenanalysen im Wesentlichen besser informiert. Präskriptive Analysen können hingegen entweder eine konkrete Alternative vorschlagen oder diese Entscheidung sogar automatisch treffen und die sich anschließende Handlung selbstständig einleiten [SSE+14, S. 11f.]. Das Stufenmodell ist in Bild 2-10 dargestellt. Nach PORTER und HEPPELMANN können für jede einzelne dieser Leistungsstufen sowohl einfachere als auch komplexere Analysen durchgeführt werden. Einfachere Analysen fokussieren dabei in der Regel nur die Daten einer einzelnen Produktinstanz; komplexere Analysen umfassen hingegen Daten verschiedener interner und externer Quellen und versprechen damit tiefergehende Erkenntnisse [PH15, S. 104].

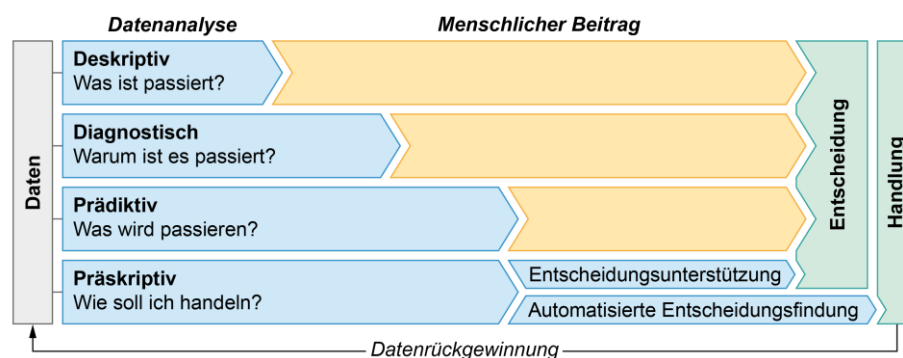


Bild 2-10: Stufenmodell der Leistungsklassen von Data Analytics nach STEENSTRUP ET AL. [SSE+14, S. 12]

Vor dem Hintergrund dieses Leistungsversprechens geht DAVENPORT so weit zu sagen, dass DA für jedes Unternehmen in jeder Branche relevant ist [Dav13, S. 66]. Die Realität zeigt dabei, dass DA tatsächlich bereits in sehr vielen Branchen eingesetzt wird. CEBR nennt als DA-Anwendungsfelder z. B. das produzierende Gewerbe, den Einzelhandel, den Dienstleistungssektor, das Gesundheitswesen, die öffentliche Verwaltung, die Logistik, das Privatkunden- und Investmentbanking, die Telekommunikation, den Energiesektor sowie die Versicherungsbranche [Ceb12, S. 5].

Wie zahlreiche wissenschaftliche Untersuchungen zeigen, lohnt sich der Einsatz von DA bereits heute. Eine Meta-Analyse sechs umfangreicher Studien⁹, in denen der Einsatz von DA in Unternehmen zahlreicher Branchen und Länder analysiert wurde, erlaubt folgende vier Schlussfolgerungen:

(1) Der Einsatz von DA trägt zu Wettbewerbsvorteilen von Unternehmen bei:

Die erfolgreichsten Unternehmen setzen DA fünfmal öfter ein als ihre weniger erfolgreiche Konkurrenz und verstehen DA als Differenzierungsmerkmal [LLS+11, S. 22]. WAMBA ET AL. belegen auch den direkten Zusammenhang von DA-Kompetenzen und Unternehmenserfolg: Von zunehmenden DA-Kompetenzen profitieren sowohl Finanz- als auch Marktkennzahlen [WGA+17, S. 362f.]. Der Trend zeigt dabei auch einen immer höheren Anteil an Unternehmen, die messbare Erfolge wie Umsatzsteigerungen und Kostenreduktionen nachweisen können [EHP+17, S. 15], [New21, S. 7]. In produzierenden Unternehmen sehen außerdem 69% der Befragten DA als kritisch für den zukünftigen Geschäftserfolg an [LPW+16, S. 16]. Ein geringer DA-Reifegrad drückt die erzielbaren Wettbewerbsvorteile jedoch signifikant [GWS+17, S. 782f.].

(2) DA wird bisher vor allem für Finanz- und Marktanalysen eingesetzt: Der Einsatz von DA fokussiert bisher Finanz-, Markt- und Kundenkennzahlen. Anwendungsfelder wie die Produkt- und Dienstleistungsentstehung werden bisher nur von einer Minderheit der Unternehmen adressiert [EHP+17, S. 16]. Das Einsatzspektrum von DA reicht von operativen bis strategischen Aufgabenstellungen [LLS+11, S. 22].

(3) Unternehmen setzen auf immer anspruchsvollere Datenanalysen: ERWIN ET AL. beobachten eine steigende Bedeutung anspruchsvollerer Datenanalysen, die sich durch Daten unterschiedlicher Herkunft und Struktur auszeichnen [EHP+17, S. 48]. Während gegenwärtig deskriptive und diagnostische Analysen dominieren [GWS+17, S. 782], stellen LUETH ET AL. einen langsamen Wandel zu höheren Leistungsklassen wie prädiktiven Analysen fest [LPW+16, S. 21].

(4) DA liefert noch zu selten die gewünschten Erkenntnisse: Trotz der bereits erzielten Erfolge mit DA stellen mehrere Studien fest, dass Unternehmen das transformatorische Potential von DA noch nicht ausschöpfen und mit signifikanten

⁹ Untersucht wurden die Studien von LAVALLE ET AL. [LLS+11], ERWIN ET AL. [EHP+17], LUETH ET AL. [LPW+16], WAMBA ET AL. [WGA+17], GROGGERT ET AL. [GWS+17] sowie NEWVANTAGE PARTNERS [New21].

Teilen der gewonnenen Erkenntnisse unzufrieden sind [New21, S. 11], [EHP+17, S. 20]. Dies betrifft vor allem die Unternehmen, die im Vergleich zu ihren Wettbewerbern einen geringeren DA-Reifegrad aufweisen [GWS+17, S. 780]. Gleichzeitig spricht sich die Mehrzahl der Unternehmen selbst Schwächen in der Generierung von Erkenntnissen aus Datenanalyse-Ergebnissen zu [LPW+16, S. 23], [GWS+17, S. 783], [LLS+11, S. 28].

Der umfassende Einsatz von DA erhöht somit bereits heute die Wettbewerbsfähigkeit von Unternehmen. Durch die Fokussierung bisher weniger beachteter Anwendungsfelder, die Durchführung anspruchsvollerer Analysen sowie die bessere Verwertung vorhandener Datenanalyse-Ergebnisse können weitere Vorteile erzielt werden.

Produzierende Unternehmen, die in der vorliegenden Arbeit betrachtet werden, wollen mit dem Einsatz von DA vor allem ihren Umsatz, ihre Kundenzufriedenheit und ihre Produktqualität erhöhen [LPW+16, S. 18]. Ihr Fokus liegt dabei bisher vor allem auf der Entwicklung und dem Angebot datenbasierter Dienstleistungen und Smart Services wie Predictive Maintenance, die den Kunden auf Basis von DA einen Mehrwert schaffen [DAR+21, S. 87], [LPW+16, S. 19], [GWS+17, S. 782], [KMS+20, S. 851ff.]. Ein großes Potential wird jedoch auch der datengestützten Verbesserung bestehender und neuer Produkte zugeschrieben. Diese soll durch die Analyse und Verwertung rückgeführter Betriebsdaten realisiert werden [DAG+21, S. 26f.], [DAR+21, S. 87], [GSM+19, S. 17], [LPW+16, S. 19]. Obwohl der Einsatz von DA zu einem solchen Zweck noch spärlich erforscht ist [MTB+22, S. 18], wird erwartet, dass Datenanalysen einen signifikanten Beitrag zu Produktinnovationen liefern werden [GWS+17, S. 783], [ADG+22, S. 47], [SS21, S. 608f.], [BWW+22, S. 5]. Dieses Potential steht in der vorliegenden Arbeit im Mittelpunkt und wird in den folgenden Abschnitten weiter vertieft.

Fazit: Die Analyse umfangreicher Daten hat sich zu einem mächtigen Werkzeug für Unternehmen aller Branchen entwickelt. Studien zeigen dabei eindeutig, dass der Einsatz von DA Unternehmen Wettbewerbsvorteile verschafft. Für produzierende Unternehmen rückt neben dem Angebot datenbasierter Dienstleistungen vor allem die Analyse von Daten zur Produktverbesserung in den Fokus. Dieser Ansatz verspricht vielfältige Innovationspotentiale und zählt gleichzeitig auf die Steigerung von Umsatz, Kundenzufriedenheit und Produktqualität ein.

2.3 Theorie der Betriebsdaten-gestützten Produktplanung und Forschungsfokus der Arbeit

Die in Abschnitt 2.2 dargestellten Forschungsfelder sowie ihre Potentiale bilden die Grundlage für ein neues Forschungsfeld: die Betriebsdaten-gestützte Produktplanung, welche im Folgenden beschrieben wird. Abschnitt 2.3.1 zeigt dabei zunächst die Grundprinzipien dieses neuen Forschungsfeldes und führt diese in einem Ablaufkonzept zusammen. Abschnitt 2.3.2 beleuchtet die Vorteile dieses Konzepts gegenüber dem Status quo.

In Abschnitt 2.3.3 werden der Forschungsgegenstand und die Forschungsfragen der vorliegenden Arbeit abgegrenzt. Mit diesen Informationen dient Abschnitt 2.3.4 abschließend der Verortung der Arbeit im *Referenzmodell der strategischen Planung und integrativen Entwicklung von Marktleistungen* nach GAUSEMEIER.

2.3.1 Grundprinzipien und Ablaufkonzept

In diesem Abschnitt werden die Grundprinzipien und das Ablaufkonzept der Betriebsdaten-gestützten Produktplanung vorgestellt. Die drei Grundprinzipien¹⁰ folgen aus den Schnittmengen der drei Forschungsfelder Strategische Produktplanung, Digitalisierung von Produkten sowie Data Analytics, die in Abschnitt 2.2 isoliert beschrieben werden. Das Ablaufkonzept basiert auf den Grundprinzipien und zeigt, wie die Betriebsdaten-gestützte Produktplanung grundsätzlich ablaufen soll.

Für die strategische Produktplanung ist es von zentraler Bedeutung, systematisch relevante Verbesserungspotentiale bestehender Produkte zu identifizieren. Besonders vielversprechend erscheint dabei die Rückführung von Daten und Informationen aus der Betriebsphase der bestehenden Produkte (Abschnitt 2.2.1). Diese stehen durch die Entwicklung der Produkte von mechatronischen zu cyber-physischen Systemen sowie durch rasante Fortschritte der digitalen Netzinfrastruktur in immer größeren Umfängen zur Verfügung. Produzierende Unternehmen gewinnen dadurch Einblicke in die Betriebsphase ihrer Produkte, wie sie ihnen bis dato nie zur Verfügung standen (Abschnitt 2.2.2). Daraus folgt das **erste Grundprinzip** der Betriebsdaten-gestützten Produktplanung:

Cyber-physische Systeme dienen während ihres Betriebs als neue Datenquellen für die strategische Produktplanung.

Die verfügbaren Betriebsdaten beinhalten wertvolle Informationen über das Verhalten der Produkte sowie der Kunden und Nutzer in der Betriebsphase, die ein hohes Nutzenpotential für die Hersteller der CPS aufweisen (Abschnitt 2.2.2). Die Daten sind jedoch in der Regel derart umfangreich, dass eine manuelle Analyse nicht mehr möglich ist. Fortschritte im Forschungsfeld Data Analytics ermöglichen mittlerweile jedoch auch die Analyse großer Mengen heterogener Daten und versprechen damit Innovationspotentiale und Wettbewerbsvorteile (Abschnitt 2.2.3). Der Einsatz von DA zur Betriebsdaten-Analyse ist Gegenstand des **zweiten Grundprinzips** der Betriebsdaten-gestützten Produktplanung:

Data Analytics ermöglicht die Generierung bisher unbekannter Erkenntnisse über den Betrieb bestehender Produkte.

Die mit DA gewonnenen Erkenntnisse können deskriptiver, diagnostischer, prädiktiver oder präskriptiver Form sein und Entscheidungsträger damit in unterschiedlichen Umfängen unterstützen – von der Schaffung einer verbesserten Entscheidungsgrundlage bis hin

¹⁰ Die in diesem Abschnitt vorgestellten drei Grundprinzipien basieren auf den sechs Grundprinzipien, die ursprünglich in [MWK+21, S. 3291f.] identifiziert wurden, und verdichten diese.

zur Vorgabe (und ggf. sogar Initiierung) von erforderlichen Maßnahmen (Abschnitt 2.2.3). Auswirkungsstarke produktstrategische Entscheidungen zu erforderlichen und sinnvollen Verbesserungen neuer Produktgenerationen können mit den Erkenntnissen der Datenanalyse unterstützt werden, um Unsicherheiten zu reduzieren und kostspielige Fehlentscheidungen sowie Fehlschläge zu vermeiden (Abschnitt 2.2.1). Das **dritte Grundprinzip** der Betriebsdaten-gestützten Produktplanung spiegelt diese Punkte wider:

Die mit Data Analytics gewonnenen Erkenntnisse unterstützen die Entscheidungsfindung bei neuen Produktgenerationen.

Das Venn-Diagramm in Bild 2-11 zeigt die drei Grundprinzipien der Betriebsdaten-gestützten Produktplanung sowie ihr Zusammenwirken.

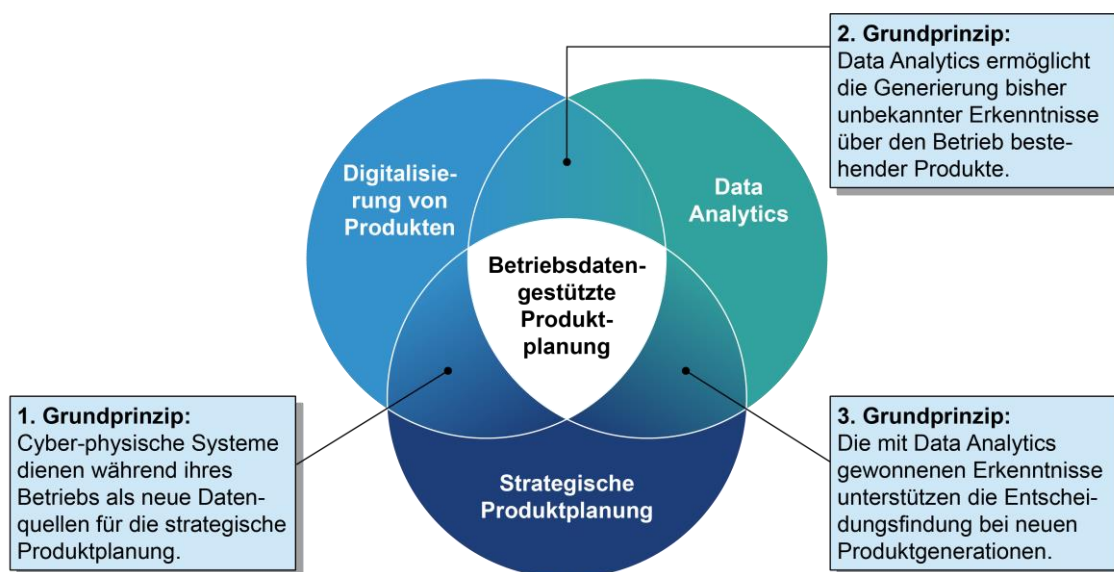


Bild 2-11: Venn-Diagramm der Betriebsdaten-gestützten Produktplanung mit eingetragenen Grundprinzipien nach MEYER ET AL. [MPW+23b, S. 18]

Die drei Grundprinzipien stellen gemeinsam den Ausgangspunkt für das Ablaufkonzept der Betriebsdaten-gestützten Produktplanung dar. Dieses setzt bei der Planung neuer Produktgenerationen G_{n+1} , G_{n+2} usw.¹¹ an, die traditionell durch große Unsicherheiten geprägt ist (Abschnitt 2.2.1). Da neue Produktgenerationen stets auf ihren Vorgängergenerationen aufbauen, können diese Unsicherheiten entweder gänzlich neu sein (z. B. in Folge einer veränderten Wettbewerbssituation) oder aus der Planung der Vorgängergenerationen stammen (weil z. B. Anforderungen von einer Produktgeneration zur nächsten übernommen werden [FAH+11, S. 300f.]). Die Produktinstanzen der Vorgängergenerationen G_{n-1} , G_{n-2} usw., die bereits verkauft werden oder wurden, generieren und sammeln im Betrieb kontinuierlich Daten über sich selbst, ihre Nutzer sowie ihre Umwelt

¹¹ Nach ALBERS und RAPP bezeichnet G_{n+1} die übernächste neue Produktgeneration am Markt und G_{n+2} entsprechend deren Nachfolger, also die über-übernächste Produktgeneration am Markt. Diese Generationen befinden sich in der Planung oder in der Entwicklung. Da sich die vorliegende Arbeit auf die Produktplanung bezieht, werden sie in ebendieser Phase verortet.

[ALW+11, S. 2], [HNU+17, S. 4731f.], [HJ20, S. 534], [BAR+21, S. 4]. Über die digitale Netzinfrastruktur werden die Betriebsdaten der unterschiedlichen Produktinstanzen an einem zentralen Ort gespeichert (z. B. in der Cloud) [ALW+11, S. 2], [vOL12, S. 872]. Mit statistischen Analysen und leistungsstarken Methoden aus den Bereichen Data Mining und Machine Learning werden Zusammenhänge und Muster in den Daten identifiziert [HJ20, S. 535], [IAG+15, S. 10], [HB13, S. 159]. Die Ergebnisse der Datenanalyse stellen die Grundlage für die Entstehung neuen Wissens (z. B. über die Nutzung des Produkts durch die Kunden) und die Eliminierung der Unsicherheiten dar [JSK+07, S. 697], [vOL12, S. 870], [DWH+21, S. 3304]. Diese Erkenntnisse werden genutzt, um Verbesserungspotentiale datengestützt abzuleiten und die neuen Produktgenerationen weiter zu planen [WTH+17, S. 5], [HNU+17, S. 4732], [BAR+21, S. 5], [EDS+19, S. 345]. Die Datenanalyse-Ergebnisse dienen damit vor allem der besseren Information der Entscheidungsträger über (1) die vorherrschende Situation sowie (2) verfügbare Potentiale (Knowledge Value Stream). Dies ist ein Unterschied zu späteren Phasen der Produktentstehung, in denen Datenanalysen primär für die Ausarbeitung von Produkten eingesetzt werden (Product Value Stream) [IBH+15, S. 5ff.], [BYB+20, S. 77f.].

Bild 2-12 zeigt das Ablaufkonzept der Betriebsdaten-gestützten Produktplanung.

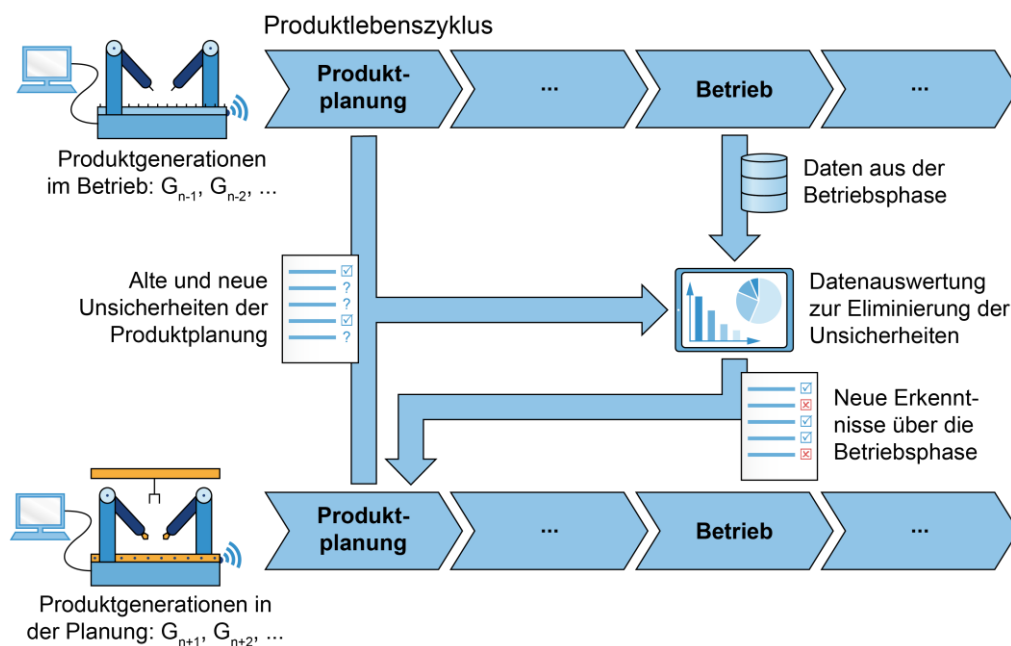


Bild 2-12: Ablaufkonzept der Betriebsdaten-gestützten Produktplanung [MPW+23b, S. 20]

Fazit: Das Forschungsfeld der Betriebsdaten-gestützten Produktplanung entsteht in der Schnittmenge der drei Forschungsfelder Strategische Produktplanung, Digitalisierung von Produkten und Data Analytics. Es basiert auf drei Grundprinzipien: (1) Data Analytics ermöglicht die Generierung bisher unbekannter Erkenntnisse über den Betrieb bestehender Produkte; (2) Data Analytics ermöglicht die Generierung bisher unbekannter Er-

kenntnisse über den Betrieb bestehender Produkte; (3) Die mit Data Analytics gewonnenen Erkenntnisse unterstützen die Entscheidungsfindung bei neuen Produktgenerationen. Das daraus abgeleitete Ablaufkonzept zeigt, dass die Betriebsdaten-Analyse ein neues Bindeglied zwischen den Produktgenerationen im Betrieb und denen in der Planung darstellt, durch das validere produktstrategische Entscheidungen ermöglicht werden sollen.

2.3.2 Vorteile

In der Literatur werden zahlreiche positive Effekte der Verwertung von Betriebsdaten in der Produktplanung genannt. Diese lassen sich zu vier grundlegenden Vorteilen zusammenfassen, die sich gegenüber den etablierten Methoden zur Identifizierung von Verbesserungspotentialen (Abschnitt 2.2.1) ergeben:

- (1) **Umfassende Datenbasis:** Während die Datenerhebung mit etablierten Methoden wie Interviews und Umfragen einen umfangreichen Ressourceneinsatz erfordert, generieren und sammeln cyber-physische Systeme während des Betriebs kontinuierlich Daten. Diese sind herkömmlich erhobenen Daten sowohl in ihrer Breite (Anzahl berücksichtigter Kunden und Produktinstanzen) als auch in ihrer Tiefe (Datenmenge je Kunde und Produktinstanz) überlegen [PH15, S. 101], [vOL12, S. 868], [HJ20, S. 535]. Sie erlauben damit sowohl Analysen aller Instanzen als auch von beliebigen Teilmengen (z. B. differenziert nach Ländern) [HUB16, S. 21], [HJ20, S. 540].
- (2) **Besseres Produktverständnis:** Mit Hilfe der Daten kann die Leistung und das Verhalten der Produkte im Betrieb beurteilt werden [LTC+15, S. 680], [HB13, S. 158], [vOL12, S. 872]. Ein weiterer Schwerpunkt liegt darin, Fehler zu verstehen und deren Ursachen zu identifizieren [WSK+17, S. 821]. Außerdem können Aussagen von Maschinenbedienern, Servicetechnikern usw. zum Produkt und zu den Kunden quantifiziert werden [HUB16, S. 21].
- (3) **Besseres Kunden- und Nutzerverständnis:** Die Daten ermöglichen eine Quantifizierung des Betriebs-/Nutzungsprofils der betrachteten Produkte und helfen damit, das Kunden- und Nutzerverhalten nachzuvollziehen [vOL12, S. 872], [HJ20, S. 535]. Außerdem können Vorlieben und latente Bedürfnisse identifiziert [HJ20, S. 535], [WSK+17, S. 821], [HB13, S. 160], [HUB16, S. 21], [vOL12, S. 870] sowie bessere Kundensegmente gebildet werden [LTC+15, S. 674], [PH15, S. 105].
- (4) **Validere Entscheidungen:** Die Analyse von Betriebsdaten fördert betriebs- und nutzungsorientierte Entscheidungen in der Planung neuer Produktgenerationen [HNU+17, S. 4733]. Wesentliche Entscheidungen bauen damit auf Fakten aus dem Betrieb auf und berücksichtigen nicht nur interne Erfahrungen und Annahmen der Produktplanung [WHT14, S. 112], [HSU+16, S. 486]. Dies hilft auch dabei, Over-Engineering zu vermeiden und Erwartungen an die neue Produktgeneration zu spezifizieren und zu quantifizieren [HUB16, S. 21], [HSU+16, S. 486], [WSK+17, S. 821], [WHT14, S. 113].

Neben diesen grundlegenden Vorteilen werden weitere positive Effekte mit der Betriebsdaten-gestützten Produktplanung verbunden, die eher als indirekte Vorteile eingestuft werden können. So wird z. B. erwartet, dass die sich an die Produktplanung anschließende Produktentwicklung effizienter wird, da u. a. physisches Prototyping und Feldtests reduziert werden können [HUB16, S. 21]. Auch die höhere Validität des Entwicklungsauftrags soll zu einem schnelleren Entwicklungsprozess führen [MTS05, S. 180]. Zudem wird mit einer Steigerung der Innovationskraft gerechnet, da Kunden und Nutzer über die Betriebsdaten indirekt in den Planungsprozess eingebunden werden [HJ20, S. 539] und Unternehmen in Folge der kontinuierlichen Betriebsdaten-Analysen die Möglichkeit bekommen, noch regelmäßiger datengestützte Verbesserungen anzubieten (z. B. in Form von Minor oder Major Releases) [HUB16, S. 21], [HB13, S. 160].

Darüber hinaus fällt auf, dass die aufgeführten Vorteile einige der **Erfolgstreiber der Produktentstehung** nach COOPER adressieren [Coo19, S. 37ff.]. So helfen die *umfassende Datenbasis* sowie das *bessere Kunden- und Produktverständnis* dabei, Produkte zu planen und zu entwickeln, die in der gesamten Betriebsphase eine hohe Qualität besitzen (Erfolgstreiber 1) und den tatsächlichen Kundenbedürfnissen und -erwartungen entsprechen (Erfolgstreiber 2) [Coo19, S. 37f.]. *Validere Entscheidungen* in der Planung neuer Produktgenerationen unterstützen die präzise, frühe und faktenbasierte Produktdefinition (Erfolgstreiber 4) [Coo19, S. 39]. Über die genannten Vorteile hinaus wird die Planung und Entwicklung neuer Produktgenerationen durch das kontinuierliche Feedback in Form von Betriebsdaten agiler und iterativer (Erfolgstreiber 5) [Coo19, S. 39f.]. Und da die Betriebsdaten bereits in der Produktplanung ausgewertet werden, wird das Entwicklungsrisiko deutlich reduziert (Erfolgstreiber 3) [Coo19, S. 38f.]. Diese Zusammenhänge zwischen den Eigenschaften der Betriebsdaten-gestützten Produktplanung und den Treibern erfolgreicher Produkte nach COOPER deuten ebenfalls darauf hin, dass die Verwertung von Betriebsdaten in der Produktplanung zum Erfolg neuer Produktgenerationen beitragen kann.

Fazit: Die Betriebsdaten-gestützte Produktplanung verspricht eine umfassende Datenbasis, mit der ein besseres Kunden- und Produktverständnis aufgebaut und bessere Entscheidungen in der Planung neuer Produktgenerationen getroffen werden können. Der Abgleich mit COOPERS Erfolgstreibern der Produktentstehung legt darüber hinaus nahe, dass die Betriebsdaten-gestützte Produktplanung den Erfolg neuer Produktgenerationen unterstützen kann.

2.3.3 Forschungsgegenstand und Forschungsfragen

Für die Herleitung des Forschungsgegenstands und die Forschungsfragen wird zunächst betrachtet, welche **organisatorischen Rollen** an der Betriebsdaten-gestützten Produktplanung beteiligt sind. In der Literatur zeigt sich dabei ein klares Muster: die Einteilung in eine produkt- und geschäftsnahe sowie eine datennahe Rolle. FATHI ET AL. unterscheiden z. B. zwischen den Rollen des Anwenders und des Wissensingenieurs [FAH+11,

S. 297]. Während der Anwender die Datenanalyse verwerten will (z. B. zur Produktverbesserung), ist der Wissensingenieur für Aufgaben wie die Datenakquisition und Modellierung verantwortlich. Ähnlich handhaben es LI ET AL.: Sie differenzieren Ingenieure und Data Scientists [LRS19, S. 273]. Auch REINHART ET AL. adressieren mit der Nennung von Domänenexperten und Data Scientists die zwei populären Rollen [RKD17, S. 325]. Eine andere Herangehensweise mit ähnlichen Implikationen wählen ZHANG ET AL.: Sie teilen Data Science-Teams in die Gruppen *Technische Teammitglieder* (mit Rollen wie Data Scientist und Data Engineer) und *Nicht-Technische Teammitglieder* (mit Rollen wie Manager und Domänenexperte) auf [ZMW20, S. 2]. Die aufgeführten Beispiele zeigen trotz leicht unterschiedlicher Begrifflichkeiten deutlich, dass der Einsatz von DA in der Produktplanung und -entwicklung einerseits eine Rolle mit Fokus auf das Produkt und das Geschäft (**Produktexperte**) sowie andererseits eine Rolle mit Fokus auf die Datenanalysen (**Analytics-Experte**) erfordert.

Die Untersuchung von ZHANG ET AL. zeigt dabei, dass der Produktexperte vor allem **zu Beginn und gegen Ende des DA-Einsatzes** involviert ist [ZMW20, S. 10]. Dies lässt sich damit erklären, dass er erst den domänenspezifischen Anwendungsfall liefert und später die Ergebnisse der Datenanalyse wieder in den Anwendungskontext überführt und verwertet [BJA+21, S. 858]. In den datenintensiven Aktivitäten ist er überwiegend nicht involviert, außer er wird aufgrund seines Domänen- oder Produktwissens konsultiert [ZMW20, S. 10]. SHAHBAZ ET AL. nennen hier das Beispiel der Datentransformation, die unter Umständen ein detailliertes Domänen- und Produktverständnis und damit die Unterstützung durch einen Produktexperten erfordern kann [SSH+06, S. 247].

Im Rahmen der Betriebsdaten-gestützten Produktplanung bietet sich für die Einnahme der Rolle des Produktexperten insbesondere der verantwortliche **Produktmanager** an. Zu dessen wesentlichen Aufgaben zählen unter anderem Produkt-, Markt- und Kundenanalysen, die Release-Planung sowie die Entwicklung einer Produktstrategie [MNS12, S. 263f.], [Aum19, S. 30], [GRS+16, S. 29f.], [Pro21, S. 18], [VDI4520, S. 2ff.]. Vor dem Hintergrund dieses Aufgabenprofils stellt der Einsatz von DA in der Planung neuer Produktgenerationen für Produktmanager eine vielversprechende Möglichkeit dar, die Erfolgsziele ihrer Produkte zu erreichen. Für die Rolle des Analytics-Experten steht im Idealfall ein ausgebildeter **Data Scientist** zur Verfügung. Je nach Umfang und Komplexität der Aufgabenstellung und der Daten kann die Rolle auch auf einen Datenarchitekten und einen Datenanalysten aufgeteilt werden [WIM23, S. 78]. Fehlt ein ausgebildeter Data Scientist, kann ein DA-Themenverantwortlicher die Aufgabe übernehmen (z. B. ein Daten-affiner Entwicklungsingenieur). Vor dem Hintergrund dieser Einordnung wird festgehalten, dass die wesentlichen Rollen der Betriebsdaten-gestützten Produktplanung von Produktmanagern und Data Scientists eingenommen werden.

In Folge der beiden identifizierten Rollen kann die Betriebsdaten-gestützte Produktplanung aus diesen zwei Rollen-Perspektiven betrachtet werden. In der vorliegenden Arbeit wird dabei die Perspektive des Produktmanagers fokussiert. Diese stellt den **Forschungs-**

gegenstand der Arbeit dar. Das bedeutet, dass in dieser Arbeit untersucht wird, wie Produktmanager Betriebsdaten-Analysen zur Erledigung ihrer Aufgaben nutzen und damit die Vorteile der Betriebsdaten-gestützten Produktplanung erzielen können. Dabei werden die Aktivitäten der Data-Scientist-Rolle explizit ausgeklammert. Es wird also z. B. nicht betrachtet, wie die Betriebsdaten vorverarbeitet und analysiert werden. Auf Grundlage dieser Festlegung werden die Forschungsfragen hergeleitet.

Die Analyse von Betriebsdaten in der strategischen Produktplanung stellt für viele Unternehmen einen gänzlich neuen Ansatz der Wissensgenerierung in der frühen Phase der Produktentstehung dar. Erstmalig wird es ihnen möglich sein, neue Produktgenerationen auf der Basis von Fakten zu planen und nicht mehr primär auf Vermutungen und einzelne Rückmeldungen aus dem Betrieb der Produkte setzen zu müssen. Entsprechend wird die verstärkte Integration von Betriebsdaten-Analysen in die etablierten Produktplanungsprozesse zur Stärkung der Innovationskraft von zahlreichen Autoren als ein wichtiges Handlungsfeld beschrieben [AH16, S. 28], [HJ20, S. 539f.], [CMA+20, S. 10], [DAR+21, S. 87]. Da der Großteil der produzierenden Unternehmen bei diesem neuen Thema jedoch noch am Anfang steht (Abschnitt 2.2.3), lautet die **1. Forschungsfrage**:

Wie können Betriebsdaten-Analysen systematisch in die strategische Produktplanung integriert werden?

Während diese erste Forschungsfrage einen konzeptionellen Fokus hat, adressieren die weiteren Forschungsfragen das methodische Vorgehen für Produktmanager. Dies betrifft zum einen die Planung der Betriebsdaten-Analysen. Sollen diese in der strategischen Produktplanung durchgeführt werden, bedeutet dies zusätzliche Aufwände wie die Sammlung, Vorbereitung und Analyse der Daten. Um diese zu rechtfertigen und die Akzeptanz für Datenanalysen zu erhöhen, ist es erforderlich, dass die durchgeführten Betriebsdaten-Analysen keinen Selbstzweck darstellen. Vielmehr müssen mit Betriebsdaten-Analysen die umfangreichen Vorteile des Themas realisiert und der langfristige Erfolg des Produkts gesichert werden (Abschnitt 2.3.2). Mangelhaft geplante Betriebsdaten-Analysen drohen sonst Ergebnisse zu liefern, die keine relevanten Erkenntnisse beinhalten und für das Unternehmen wertlos sind. Ähnlich wie im Produktentstehungsprozess kann auch beim DA-Einsatz davon ausgegangen werden, dass die Planungsphase über den Erfolg entscheidet. Eine umfangreiche Planung der Betriebsdaten-Analysen ist somit unabdingbar [WTH+17, S. 6]. Daraus resultiert die **2. Forschungsfrage**:

Wie können Betriebsdaten-Analysen in der strategischen Produktplanung erfolgreich geplant werden?

Zum anderen muss die Verwertung der Betriebsdaten-Analysen in der strategischen Produktplanung methodisch unterstützt werden. Wie in Abschnitt 2.2.3 bereits beschrieben, zeigen zahlreiche empirische Studien, dass viele Unternehmen Schwierigkeiten mit diesem Schritt haben und es ihnen nur selten gelingt, Wert aus ihren vorhandenen Daten zu schöpfen. Von einer Ausschöpfung und gewinnbringenden Umsetzung der Ergebnisse kann keine Rede sein [Ber19, S. 52]. Auch zahlreiche Data Scientists beklagen in einer

Umfrage des Data Science-Portals KAGGLE, dass Entscheidungsträger ihre Datenanalyse-Ergebnisse nur selten nutzen [Tho17-ol]. Dabei sinkt die Verwertungsquote sogar noch beträchtlich, je geringer die DA-Erfahrungen und -Kompetenzen des betrachteten Unternehmens sind [LLS+11, S. 26]. Für das produzierende Gewerbe mit seinen unzähligen kleinen und mittleren Unternehmen präsentiert sich die Verwertung von Betriebsdaten-Analysen damit als ein großes Hindernis. Daher folgt als **3. Forschungsfrage**:

Wie können Betriebsdaten-Analysen erfolgreich in der strategischen Produktplanung verwertet werden?

Fazit: Die Hauptakteure der Betriebsdaten-gestützten Produktplanung sind im Wesentlichen zwei Rollen: ein Produktexperte wie der verantwortliche Produktmanager sowie ein Analytics-Experte, im Idealfall ein Data Scientist. Den Forschungsgegenstand der vorliegenden Arbeit bildet dabei die Perspektive des verantwortlichen Produktmanagers. Vor diesem Hintergrund ergeben sich drei Forschungsfragen. Diese behandeln (1) die systematische Integration von Betriebsdaten-Analysen in die strategische Produktplanung, (2) die erfolgreiche Planung von Betriebsdaten-Analysen sowie (3) die erfolgreiche Verwertung von Betriebsdaten-Analysen in der strategischen Produktplanung.

2.3.4 Verortung der Arbeit im Prozess der Marktleistungsentstehung

Die vorliegende Arbeit befasst sich mit der Planung und Verwertung von Betriebsdaten-Analysen in der strategischen Produktplanung (Abschnitt 2.3.3). Vor dem Hintergrund des Forschungsgegenstands und der Forschungsfragen wird in diesem Abschnitt betrachtet, wie die Arbeit damit zum Prozess der industriellen Marktleistungsentstehung beiträgt. Daher wird nachfolgend zunächst das Referenzmodell der strategischen Planung und integrativen Entwicklung von Marktleistungen nach GAUSEMEIER vorgestellt. Anschließend wird die Verortung der Systematik im Referenzmodell diskutiert.

Die industrielle Entstehung einer neuen Marktleistung beginnt mit einer Produkt- bzw. Geschäftsidee und endet mit dem Serienanlauf (Start of Production – SOP) [GDE+19, S. 89]. Der hinter der Marktleistungsentstehung liegende Prozess kann dabei nicht als stringente Folge von Phasen und Meilensteinen betrachtet werden. Vielmehr lässt er sich in Form von vier Zyklen beschreiben, deren Aufgaben jeweils mehrfach zu durchlaufen sind, bis die erforderliche Ergebnisreife erreicht ist. Die vier Zyklen adressieren die vier Hauptaufgaben (1) *Strategische Produktplanung*, (2) *Produktentwicklung*, (3) *Dienstleistungsentwicklung* und (4) *Produktionssystementwicklung* [GDE+19, S. 89]. Bild 2-13 verdeutlicht dies.

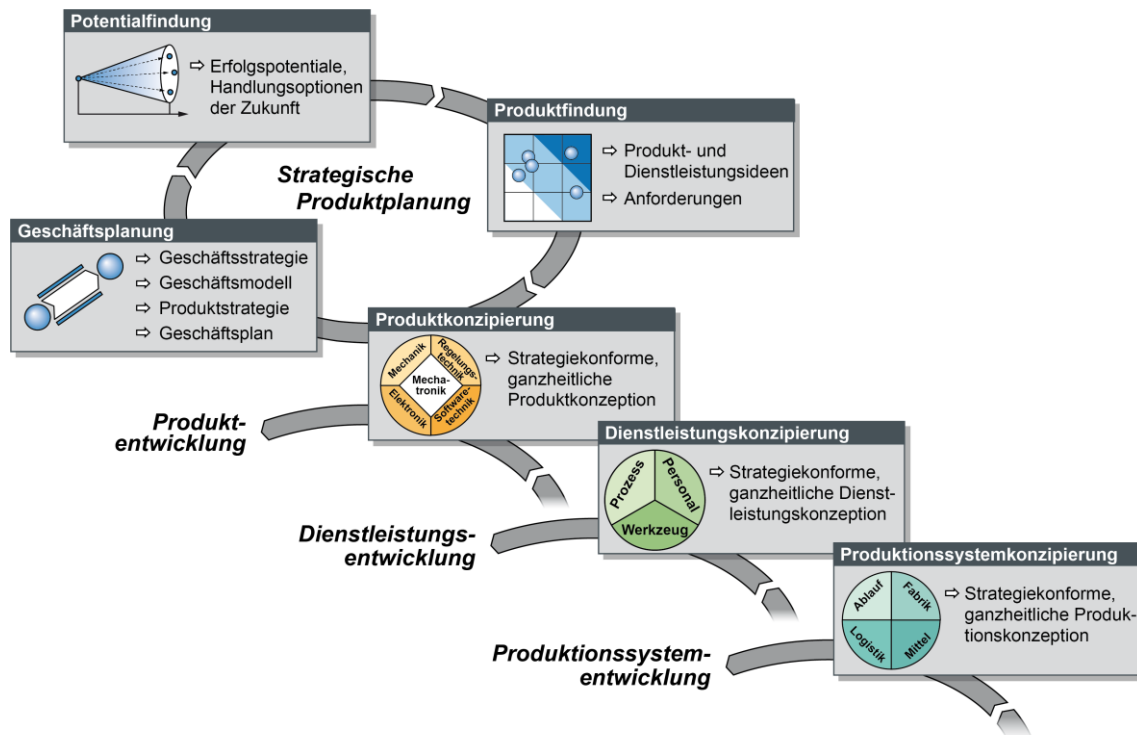


Bild 2-13: Referenzmodell der strategischen Planung und integrativen Entwicklung von Marktleistungen mit angedeuteten Entwicklungszyklen [GDE+19, S. 90]

Erster Zyklus – Strategische Produktplanung: Der erste Zyklus umfasst das Vorgehen von der Identifizierung der Erfolgspotentiale der Zukunft bis zur Erstellung von Entwicklungsaufträgen. Drei Aufgabenbereiche sind charakteristisch für diesen Zyklus: die Potentialfindung, die Produktfindung sowie die Geschäftsplanung. In der Potentialfindung stehen die Identifizierung der Erfolgspotentiale der Zukunft und die Ableitung geeigneter Handlungsoptionen im Fokus. Den Schwerpunkt der Produktfindung bilden die Suche und Auswahl neuer Produkt- und Dienstleistungsideen, mit denen die identifizierten Erfolgspotentiale erschlossen werden sollen. In der Geschäftsplanung wird die Geschäftsstrategie, das Geschäftsmodell, die Produktstrategie sowie der Geschäftsplan adressiert [GDE+19, S. 90].

Zweiter Zyklus – Produktentwicklung: Im zweiten Zyklus werden die Aufgabenbereiche Produktkonzipierung, Entwurf und Ausarbeitung sowie Produktintegration betrachtet. Die Produktkonzipierung wirkt als Bindeglied zwischen der strategischen Produktplanung und der Produktentwicklung. Das resultierende Produktkonzept unterstützt z. B. die Erstellung eines Geschäftsplans im Rahmen der Geschäftsplanung. Auf Basis des Konzepts werden der Entwurf und die Ausarbeitung in den jeweiligen Fachgebieten vorgenommen. Im Rahmen der Produktintegration werden die Einzelergebnisse wieder zu einer Gesamtlösung zusammengeführt [GDE+19, S. 90].

Dritter Zyklus – Dienstleistungsentwicklung: Gegenstand des dritten Zyklus sind die Aufgabenbereiche Dienstleistungskonzipierung, Dienstleistungsplanung und Dienstleistungsintegration. Mit diesen soll eine Dienstleistungsidee in eine Marktleistung überführt

werden. Die Dienstleistungskonzipierung umfasst die integrative Spezifizierung der Aspekte Prozess, Personal und Werkzeug. Äquivalent zur Produktkonzipierung ist sie das Bindeglied zur strategischen Produktplanung. Die Dienstleistungsplanung konkretisiert das Konzept, z. B. in Form der Personalplanung. Aufgabe der Dienstleistungsintegration ist die Zusammenführung der einzelnen Planungsergebnisse [GDE+19, S. 91f.].

Vierter Zyklus – Produktionssystementwicklung: Der vierte Zyklus adressiert die Aufgabenbereiche Produktionssystemkonzipierung, die Arbeitsplanung sowie die Produktionssystemintegration. Im Rahmen der Produktionssystemkonzipierung wird ein Konzept für den Arbeitsablauf, die Arbeitsstätte, die Arbeitsmittel sowie die Logistik erarbeitet. Schwerpunkt der Arbeitsplanung ist die weitere Konkretisierung dieses Konzepts, z. B. in einem Arbeitsablaufplan. In der Produktionssystemintegration werden die Konzepte und Pläne in ein verifiziertes Produktionssystem überführt [GDE+19, S. 91f.].

Verortung der Arbeit: Die vorliegende Arbeit befasst sich mit der Betriebsdaten-gestützten Planung neuer Produktgenerationen. Damit ist sie im ersten Zyklus des vorgestellten Referenzmodells zu verorten. In der Potentialfindung gilt es, Betriebsdaten-Analysen durchzuführen, die für die Planung neuer Produktgenerationen relevantes Wissen generieren und auswirkungsstarke Unsicherheiten reduzieren. Mit dem gewonnenen Wissen sind Verbesserungspotentiale und Handlungsoptionen für neue Produktgenerationen abzuleiten. In der Produktfindung sind konkrete Ideen für neue Produktgenerationen zu generieren. In der Geschäftsplanung ist es vor allem erforderlich, die Produktstrategie auf Basis der zuvor getroffenen Entscheidungen zu überarbeiten, um bspw. den Wettbewerbsvorsprung der Produkte zu erhalten [GDE+19, S. 315]. Mögliche Auswirkungen der Überarbeitung der Produktstrategie auf die Geschäftsstrategie, das Geschäftsmodell und den Geschäftsplan sind darüber hinaus aufzuzeigen.

Im Zuge dieser Verortung muss jedoch beachtet werden, dass sich das vorgestellte Referenzmodell allgemein auf die Entstehung neuer Marktleistungen bezieht. Die Entstehung neuer Generationen von bestehenden Marktleistungen wird dabei nicht explizit beschrieben. Für den Zyklus der strategischen Produktplanung wird z. B. nicht betrachtet, wie Planungsartefakte von Vorgängergenerationen (z. B. Produktstrategien oder Nutzersteckbriefe) in der Planungsphase einer neuen Produktgeneration berücksichtigt werden sollen. Dies erscheint jedoch notwendig, da nicht jede neue Produktgeneration von der grünen Wiese aus neu geplant wird, sondern die Planung vielmehr auf bestehenden Artefakten aufbaut und diese in einem sinnvollen Rahmen aktualisiert und ergänzt. Am Beispiel der Betriebsdaten-gestützten Produktplanung kann dies verdeutlicht werden, da die Datenquellen hier bestehende Produktgenerationen im Betrieb sind. Um die Daten und das daraus gewonnene Wissen verwerten zu können, müssen die Planungsartefakte von Vorgängergenerationen in der Planung neuer Produktgenerationen aufgegriffen werden. Für die vorliegende Arbeit ergibt sich daraus ein Bedarf, diese Zusammenhänge näher zu untersuchen.

Fazit: Die vorliegende Arbeit adressiert die strategische Produktplanung, die nach GAUSEMEIER den ersten Zyklus der Marktleistungsentstehung darstellt. Mit dem vorgestellten Referenzmodell wird jedoch noch nicht hinreichend beschrieben, wie Vorgängergenerationen und ihre Planungsartefakte in der Planung neuer Produktgenerationen genutzt werden. Da dies fundamental für die Betriebsdaten-gestützte Produktplanung ist, stellt dies einen wichtigen Untersuchungsbedarf für die vorliegende Arbeit dar.

2.4 Untersuchungen zur Planung und Verwertung von Betriebsdaten-Analysen in der Produktplanung

Zur inhaltlichen Vertiefung des beschriebenen Forschungsgegenstands sowie der drei Forschungsfragen sind weitere Untersuchungen erforderlich. Im Rahmen der DS-I werden daher Literaturanalysen und eigene empirische Untersuchungen zu den Forschungsfragen durchgeführt [BC09, S. 80f.]. Diese sowie deren Ergebnisse werden in diesem Abschnitt vorgestellt. Die daraus abgeleiteten Schlüsselfaktoren stellen direkte Anknüpfungspunkte für die Entwicklung der Systematik dar. Abschnitt 2.4.1 beschreibt zunächst die Datenerhebung beider Untersuchungsformen. In Abschnitt 2.4.2 werden die Untersuchungsergebnisse zur Integration von Betriebsdaten-Analysen in die strategische Produktplanung vorgestellt (1. Forschungsfrage). Abschnitt 2.4.3 zeigt die Untersuchungsergebnisse zur Planung von Betriebsdaten-Analysen in der strategischen Produktplanung (2. Forschungsfrage). Abschließend werden in Abschnitt 2.4.4 die Untersuchungsergebnisse zur Verwertung von Betriebsdaten-Analysen in der strategischen Produktplanung dargestellt (3. Forschungsfrage).

2.4.1 Datenerhebung

Die folgenden Abschnitte geben einen kurzen Überblick über die Datenerhebung für die Literaturanalyse und die eigenen empirischen Untersuchungen.

2.4.1.1 Literaturanalyse

Die Literaturanalyse zielt auf die Identifizierung relevanter Theorien, Modelle und weiterer Ergebnisse zu den jeweiligen Forschungsfragen ab [BC09, S. 86]. Den Ausgangspunkt der Literaturanalyse bildet die Erstellung einer geeigneten Datenbasis. Dafür wurde eine systematische Literaturanalyse zur Betriebsdaten-gestützten Produktplanung durchgeführt [MWK+21, S. 3289ff.]. Die in diesem Rahmen identifizierte Datenbasis wurde aufgrund der hohen Dynamik des Themas regelmäßig aktualisiert und auch um relevante Artikel aus den drei grundlegenden Forschungsfeldern Strategische Produktplanung, Digitalisierung von Produkten sowie Data Analytics (Abschnitt 2.2) ergänzt. Die Artikel wurden im Anschluss im Hinblick auf die drei Forschungsfragen analysiert, um Erkenntnisse zur Ausgangssituation, den vorherrschenden Herausforderungen sowie Erfolg versprechenden Einflussfaktoren zu erlangen.

2.4.1.2 Eigene empirische Untersuchungen

Um das Problemverständnis weiter zu vertiefen, werden nach der Literaturanalyse eigene empirische Untersuchungen durchgeführt [BC09, S. 89]. Die empirischen Untersuchungen, die im Rahmen dieser Arbeit unternommen wurden, umfassen eine übergeordnete sowie vier explizit durchgeführte empirische Studien. Die **übergeordnete Studie** repräsentiert die mehrjährige Partizipation im Konsortialforschungsprojekt DizRuPt im Sinne des Consortium-Research-Ansatzes (Abschnitt 1.3). Da Forscher im Rahmen der Konsortialforschung umfangreichen Zugang zum Praxiswissen der Partnerunternehmen haben [ÖO10b, S. 276], kann ein derartiges Projekt als empirische Langzeit-Studie betrachtet werden. In diesem können die Forscher unzählige Felddaten durch Beobachtungen, formlose Interviews usw. aufnehmen. Die Rolle der Forscher ähnelt dabei der in den Sozialwissenschaften verbreiteten *Teilnehmenden Beobachtung*, bei der Forscher in die soziale Welt derer eintreten, die sie untersuchen wollen, und durch Beobachtung und Partizipation ungefilterte Felddaten erheben [SLT19, S. 390f.].

Die **vier explizit durchgeführten empirischen Studien** sind in Tabelle 2-1 aufgeführt¹².

Tabelle 2-1: Charakterisierung der vier explizit durchgeführten empirischen Studien

ID	Methode	Ziel	Teilnehmer der Studie	Referenzen
I1	Explorative semi-strukturierte Interviews	Erkenntnisse zum Status quo, den Potentialen und den Herausforderungen der Betriebsdaten-gestützten Produktplanung	Führungskräfte aus acht produzierenden Unternehmen	[MFK+22b]
I2	Explorative semi-strukturierte Interviews	Erkenntnisse zum Status quo und den Handlungsbedarfen der generationsbasierten Weiterentwicklung von Produktportfolios	Führungskräfte aus sieben produzierenden Unternehmen	[MHK+21], [MHS+24]
W1	Canonical Action Research	Erkenntnisse zu den Herausforderungen der Definition von Use Cases für die Betriebsdaten-gestützte Produktplanung	Fach- und Führungskräfte der vier Anwenderunternehmen des Konsortialforschungsprojekts DizRuPt	[MPK+21]
W2	World Café	Erkenntnisse zu den Herausforderungen der Verwertung von Datenanalyse-Ergebnissen in der strategischen Produktplanung	Fach- und Führungskräfte der vier Anwenderunternehmen des Konsortialforschungsprojekts DizRuPt	[MFK+22a]

2.4.2 Untersuchungsergebnisse zur Integration von Betriebsdaten-Analysen in die strategische Produktplanung

Im Folgenden werden zunächst die Ergebnisse der Literaturanalyse beschrieben, dann die der eigenen empirischen Untersuchungen. Abschließend werden die Ergebnisse diskutiert und Schlussfolgerungen gezogen.

¹² Detaillierte Informationen zum jeweiligen Forschungsdesign und die vollständigen Ergebnisse sind den referenzierten Vorveröffentlichungen zu entnehmen.

2.4.2.1 Ergebnisse der Literaturanalyse

Die Integration von Betriebsdaten-Analysen bietet in allen Phasen des Produktentstehungsprozesses umfangreiche Potentiale [FZZ+20, 3-12], [HUB16, S. 21]. In verschiedenen Interviewstudien geben Führungskräfte produzierender Unternehmen jedoch an, dass sie den **größten Nutzen in der strategischen Produktplanung** erwarten [WSK+17, S. 821], [HNU+17, S. 4732]. Dies ist vor allem auf die Charakteristika dieser Phase zurückzuführen, die sich durch große Unsicherheiten und auswirkungsstarke Entscheidungen auszeichnet (Abschnitt 2.2.1).

Die Literaturanalyse zeigt aber, dass die **Integration von Betriebsdaten-Analysen in die strategische Produktplanung** erst am Anfang steht. BERTONI stellt beispielsweise fest, dass die Forschung zur Integration von Datenanalysen in die Produktentstehung in den letzten Jahren von Veröffentlichungen dominiert wird, die spätere Phasen der Produktentstehung und andere Daten fokussieren [Ber20, S. 103ff.]. Im Vergleich mit der strategischen Produktplanung zählt er z. B. mehr als doppelt so viele Veröffentlichungen zur Phase der Konzipierung. Außerdem stellt er dar, dass zwar bereits zahlreiche Veröffentlichungen zur datengestützten Identifizierung von Kundenbedürfnissen existieren, diese aber mehrheitlich die Analyse von Daten aus sozialen Netzwerken und von Online-Bewertungen unter Anwendung von Text Mining-Methoden beschreiben [Ber20, S. 103ff.]. Das Gleiche beobachten LIM ET AL. [LHZ21, S. 10ff.]. HÄUSLER ET AL. stellen darüber hinaus fest, dass die meisten Artikel auf eine detaillierte Beschreibung der Integration von DA in die Produktentstehung verzichten [HKH+21, S. 14]. Auch in der Praxis zeigen sich Probleme: HOLMSTRÖM OLSSON und BOSCH legen mit ihrer Studie z. B. nahe, dass produzierende Unternehmen vorhandene Betriebsdaten bis dato überwiegend für die Behebung akuter Probleme der Produkte nutzen, nicht für die strategische Planung neuer Produktgenerationen [HB13, S. 159]. Solch ein reaktiver Ansatz verspricht gegenüber einem proaktiven Ansatz jedoch weniger Nutzen [HUB16, S. 21]. In Folge dieser Schilderungen nehmen viele Unternehmen die **Kopplung von Produktentstehung und DA** als **unzureichend** war und beschreiben diese als eine zentrale Herausforderung [WTH+17, S. 5].

Zur Integration von Betriebsdaten-Analysen in die strategische Produktplanung gilt es, mehrere Aspekte zu beachten. WILBERG ET AL. deuten in einer Darstellung an, dass **Betriebsdaten-Analysen** nicht die einzige, sondern **eine von mehreren Eingangsgrößen** für die Planung einer neuen Produktgeneration sind [WTH+17, S. 5]. Damit würden Betriebsdaten-Analysen etablierte Methoden zur Informationsgewinnung sowie die dazugehörigen Daten- und Informationsquellen ergänzen und nicht ersetzen. HOU und JIAO führen diesen Gedanken weiter, indem sie die zurückgeführten Betriebsdaten metaphorisch als **Feedback-Schleife eines nun geschlossenen Regelkreises der Produktentstehung** betrachten [HJ20, S. 533ff.]. Mit dem Feedback können die ursprünglichen Pläne und der tatsächliche Betrieb einer Produktgeneration verglichen werden. Die Betriebsdaten-Analysen können somit gezielt eingesetzt werden, um produktstrategische Vermutungen und

Erwartungen im Betrieb zu validieren. Im Bereich des Marketings, das eng mit der strategischen Produktplanung verbunden ist, konnten XU ET AL. auch bereits zeigen, dass diese Kombination etablierter Methoden mit DA-Ansätzen den positivsten Einfluss auf den Erfolg neuer Produkte hat [XFR16, S. 1564f.].

Für die erfolgreiche Integration von Betriebsdaten-Analysen in die strategische Produktplanung zeigen sich in der Literatur zwei zentrale Herausforderungen. Zum einen muss die strategische Produktplanung selbst so **organisiert sein** und **ablaufen**, dass sie eine **effiziente und proaktive Durchführung von Betriebsdaten-Analysen unterstützt** [Ber20, S. 106], [GBT+20, S. 9]. Ist dies nicht der Fall, wird die kognitive Distanz zwischen gegenwärtigem und gewünschtem Zustand zu groß. Außerdem stellt ein fehlendes Verständnis dafür, wie bestehende Abläufe mit DA konkret verbessert werden können, eines der größten Hindernisse für eine umfassende DA-Einführung dar [LLS+11, S. 25], [Bea22-ol, S. 3]. In diesem Fall wird die Analyse von Betriebsdaten in der strategischen Produktplanung bereits von vornherein ausgebremst.

Zum anderen stehen Unternehmen vor der Herausforderung, **Betriebsdaten-Analysen effizient in der strategischen Produktplanung umzusetzen** [BJA+21, S. 858]. Dabei zeigt sich in der Literatur, dass der Großteil der Unternehmen weder über besonders ausgeprägte DA-Kompetenzen noch umfangreiche Erfahrungen verfügt. Nach LUETH ET AL. haben erst 30% der befragten produzierenden Unternehmen bereits DA-Projekte durchgeführt [LPW+16, S. 16]. Die Studie von ERWIN ET AL. zeigt dazu dreierlei: (1) Erst 8% der von ihnen befragten Unternehmen nutzen Daten in der Produktentstehung; (2) Nur jedes vierte Unternehmen glaubt, dass es die notwendigen Kompetenzen besitzt, um das Unternehmen kontinuierlich mit Datenanalysen vorantreiben zu können; (3) 60% der Befragten fehlt das Vertrauen in die Fähigkeiten der Datenanalysten in ihren Unternehmen [EHP+17, S. 16ff.]. Die Auswirkungen dieser Zahlen werden von einer Studie von LU ET AL. untermauert: Produktexperten trauen sich demnach bisher kaum zu, Daten in der Produktentstehung zu nutzen. Die Studienteilnehmer geben an, dass sie sich überfordert fühlen, es ihnen an Expertise mangelt und sie die Zusammenarbeit mit Analytics-Experten als herausfordernd empfinden [LGG+21, S. 3025f.]. Ähnliches beobachten MEHLSTÄUBL ET AL. [MNG+21, S. 5ff.]. Zur Verbesserung der Zusammenarbeit müssen **Kontaktpunkte von Produkt- und Analytics-Experten** klar definiert sein [GL17, S. 380]. Dafür werden **klar definierte Prozesse** für den Einsatz von DA benötigt, die vielen Unternehmen noch fehlen [EHP+17, S. 42], [HB13, S. 159], [BJA+23, S. 10f.].

2.4.2.2 Ergebnisse der empirischen Untersuchungen

Eine der wesentlichen Aufgaben der strategischen Produktplanung ist es, Erfolg versprechende neue Produkte zu definieren. Die Interviewstudie I2 zeigt dabei, dass kontinuierlich zahlreiche **Kräfte auf das Produktportfolio von Unternehmen einwirken**, die eine **Evolution des Produktportfolios als Ganzes** und auch der **einzelnen Produkte** anregen. Zu diesen Kräften zählen z. B. (Mega-)Trends und neue Technologien, aber eben

auch Daten und Informationen aus dem Betrieb bestehender Produkte [MHS+24]. Deren systematische **Rückführung und Analyse in der strategischen Produktplanung gelingt in der Praxis jedoch noch nicht**. Die in der Interviewstudie I1 befragten Unternehmen analysieren die bisher vorhandenen Betriebsdaten im Wesentlichen zur Behebung akuter Probleme im Rahmen von Servicefällen. Im Anschluss gelingt es den Unternehmen nur in Einzelfällen, die Ergebnisse und Erkenntnisse auch für die systematische und langfristige Verbesserung der Produkte zu nutzen. Dies liegt vor allem daran, dass die Unternehmen keine dedizierten Prozesse zur Bereitstellung und Nutzung der im Service gewonnenen Informationen in der Produktentstehung haben. Falls ein Informationsaustausch zwischen Service und Produktentstehung stattfindet, geschieht dieser in einer spontanen und formal nicht festgelegten Art und Weise, z. B. per Telefon oder E-Mail [MFK+22a, S. 5f.]. Grundsätzlich merkten die Interviewpartner auch an, dass ihren Unternehmen noch DA-Erfahrungen und -Know-how fehlen.

Diese Interview-Ergebnisse decken sich mit den Beobachtungen und Erfahrungen aus dem Konsortialforschungsprojekt DizRuPt. Im Rahmen einer Prozessanalyse mit den vier Anwenderunternehmen wurde auch hier festgestellt, dass Daten und Informationen über den Betrieb eines Produkts bisher nur über die Stellen Service und Vertrieb in die strategische Produktplanung gelangen – falls sie es überhaupt tun. Von einer bereits existierenden **systematischen Nutzung der Betriebsdaten und -informationen** zur Verbesserung bestehender Produkte wurde dabei **in keinem Unternehmen** berichtet.

Zu der Frage, wie die Integration von Betriebsdaten-Analysen in die strategische Produktplanung geschehen soll, existieren in der Praxis jedoch bereits konkrete Vorstellungen. Aus der Interviewstudie I1 geht dabei hervor, dass Betriebsdaten-Analysen sich vor allem für die **Planung und Verbesserung neuer Generationen bestehender Produkte** eignen und die Identifizierung bisher unbekannter Verbesserungspotentiale aus dem Betrieb der Produkte unterstützen können. Daraus können sich neue Entwicklungsrichtungen für die geplanten Produktgenerationen ergeben. Außerdem können subjektive und qualitative Rückmeldungen aus dem Betrieb (z. B. von Benutzern oder Servicemitarbeitern) mit Betriebsdaten überprüft und somit verifiziert oder falsifiziert werden. Betont wurde außerdem, dass Betriebsdaten lediglich den Status quo beschreiben und somit nicht direkt neue Ideen für die Verbesserung des betrachteten Produkts liefern, vor allem nicht für Prinzipvariationen. Ihre Analyse stellt vielmehr den Ausgangspunkt für die Generierung neuer Ideen dar; die menschliche Kreativität wird durch sie nicht ersetzt. Ein weiterer Aspekt ist die **Verantwortung** des Themas: Diese soll beim **Produkt- und Release-management** liegen. Produktmanager können als Hauptnutzer aktiv die systematische Verbesserung ihrer Produkte vorantreiben und ihre Produktstrategie mit Betriebsdaten absichern [MFK+22a, S. 6f.].

Im Konsortialforschungsprojekt DizRuPt, in dem dreieinhalb Jahre lang an der Integration von Betriebsdaten-Analysen in die strategische Produktplanung geforscht wurde, konnten jedoch **Schwierigkeiten bei der praktischen Umsetzung** beobachtet werden. Ein Unternehmensvertreter sagte z. B. in einem Workshop, dass er den Zusammenhang

dieser beiden Themen nicht verstehen würde, weil die bekannten Modelle der strategischen Produktplanung sich vorrangig auf **gänzlich neue Produkte** bezögen, Betriebsdaten-Analysen aber eher für die Planung neuer Produktgenerationen geeignet seien. Derartige **Verständnisprobleme** tauchten gerade zu Beginn des Projekts immer wieder auf. Dabei zeigte sich, dass die Kluft zwischen der bekannten und etablierten strategischen Produktplanung und der Vision der Betriebsdaten-gestützten Produktplanung noch sehr groß ist. Andere DA-Einsatzmöglichkeiten waren für die Unternehmensvertreter leichter zu greifen, z. B. die prädiktive Wartung von Maschinen, deren Grundidee in den vergangenen Jahren bereits unzählige Male auf Messen und in Fachzeitschriften beschrieben wurde.

Damit die Betriebsdaten-gestützte Produktplanung Realität wird, ist laut den Befragten der Interviewstudie I1 ein **neuer und dedizierter Prozess** notwendig. Denn diese neue Art des Feedbacks aus dem Betrieb ließe sich mit den vorhandenen Produktplanungs-Prozessen nicht gewinnbringend verwerten [MFK+22a, S. 10f.]. Dies ist auch eine Erkenntnis aus dem Konsortialforschungsprojekt DizRuPt: In den vorhandenen Prozessen und Strukturen der Anwenderunternehmen ließen sich Betriebsdaten-Analysen kaum verorten. Der wesentliche Grund dafür war, dass sich dieser neue Ansatz fundamental von den etablierten Ansätzen zur Informationsgewinnung unterschied. Dies macht es erforderlich, dass Unternehmen einen neuen und dedizierten Prozess zur Betriebsdaten-gestützten Produktplanung einführen und diesen **mit dem regulären Produktplanungsprozess verbinden**.

2.4.2.3 Identifizierte Schlüsselfaktoren

Die Untersuchungen zeigen, dass die Integration von Betriebsdaten-Analysen in die strategische Produktplanung weder in der Literatur noch in den Unternehmen, die in den empirischen Studien berücksichtigt wurden, gelöst ist. Dabei stechen zwei Schlüsselfaktoren hervor:

- (1) Zum einen herrscht eine gewisse Unklarheit darüber, wie Betriebsdaten-Analysen in die strategische Produktplanung passen. Dies hängt im Wesentlichen damit zusammen, dass die etablierte strategische Produktplanung, wie sie in der Literatur beschrieben und in der Praxis verfolgt wird, vor allem die Planung gänzlich neuer Produkte adressiert. Die Planung neuer Produktgenerationen wird mit vorherrschenden Modellen nicht beschrieben. Dieses Problem legt auch bereits die Diskussion der Verortung der Arbeit im Prozess der Marktleistungsentstehung in Abschnitt 2.3.4 offen. Der erste Schlüsselfaktor ist damit der **Aufbau eines grundlegenden Verständnisses** darüber, wie **neue Produktgenerationen im Rahmen der strategischen Produktplanung geplant** werden können.
- (2) Zum anderen werden sowohl in der Literaturanalyse als auch in den eigenen empirischen Untersuchungen mangelhafte DA-Erfahrungen und Kompetenzen in produzierenden Unternehmen ausgemacht. In der Folge wissen Produktmanager

und -planer nicht, wie sie Betriebsdaten-Analysen im Rahmen der Produktplanung durchführen könnten. Aus den Betrachtungen wird dabei deutlich, dass die vorhandenen Prozesse sich nicht für die Integration von Betriebsdaten-Analysen eignen. Vielmehr zeigt sich der Bedarf für einen **neuen und dedizierten Prozess** für die Betriebsdaten-gestützte Produktplanung. Dessen **Existenz** repräsentiert den zweiten Schlüsselfaktor.

Bild 2-14 zeigt die identifizierten Schlüsselfaktoren für die Integration von Betriebsdaten-Analysen in die strategische Produktplanung.

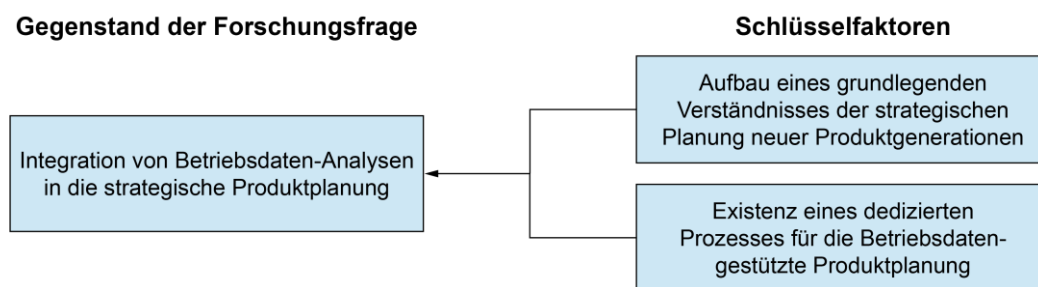


Bild 2-14: Identifizierte Schlüsselfaktoren für die erste Forschungsfrage

2.4.3 Untersuchungsergebnisse zur Planung von Betriebsdaten-Analysen in der strategischen Produktplanung

Auch in diesem Abschnitt werden zunächst die Ergebnisse der Literaturanalyse dargestellt, gefolgt von denen der eigenen empirischen Untersuchungen. Darauf folgen wiederum die Diskussion der Ergebnisse sowie die Schlussfolgerungen.

2.4.3.1 Ergebnisse der Literaturanalyse

Die Planung von Betriebsdaten-Analysen wird in der Literatur umfassend diskutiert und vielerorts als der **Schritt** bezeichnet, der über den **Erfolg oder Misserfolg** der Betriebsdaten-Analyse **entscheidet**. Vertreter produzierender Unternehmen sehen ihn z. B. als unverzichtbar an, um sicherzustellen, dass die Ergebnisse der Datenanalyse am Ende auch tatsächlich Nutzen stiften [WSK+17, S. 820]. Fehlt hingegen ein übergeordneter Plan für die Betriebsdaten-Analysen, können diese schnell arbeitsintensiv und frustrierend werden und zu enttäuschenden Ergebnissen führen [Har20, S. 2f.] – obwohl hohe Investitionen getätigt wurden [Ber19, S. 53]. Dass diese Relevanzeinschätzungen nicht überzogen sind, zeigt ein Blick in die Praxis. Dabei zeigt sich, dass **DA-Vorreiter** die **Wissens- und Nutzengenerierung** aus Daten sehr **strategisch** angehen. Fast der Hälfte der DA-Nachzügler fehlt hingegen eine klare Strategie oder ein Plan, wie sie mit ihren Daten Nutzen generieren wollen [Har20, S. 1].

Im Mittelpunkt der Planung steht die **Definition Erfolg versprechender Use Cases**, die die Ziele der Betriebsdaten-Analysen und die dafür zu analysierenden Daten beschreiben

[WSK+17, S. 820], [LRS19, S. 284], [BJA+23, S. 10]. Dabei werden zwei Ansätze unterschieden: (1) Von den Unternehmenszielen ausgehend werden die notwendigen Daten bestimmt (**Top-down-Ansatz**); (2) Auf Basis der verfügbaren Daten werden realisierbare Ziele definiert (**Bottom-up-Ansatz**) [WTH+17, S. 9]. In der Literatur wird überwiegend der **Top-down-Ansatz empfohlen**, da er einen größeren Nutzen der Betriebsdaten-Analysen für das Unternehmen verspricht und die notwendigen Aufwände rechtfertigt [LLS+11, S. 25], [Ber19, S. 53]. Um diesen Nutzen zu maximieren, raten einige Autoren, Datenanalysen auf die größten **Herausforderungen, Aufgaben und Unsicherheiten** des Unternehmens zu **fokussieren**, da diese gleichzeitig auch die größten **Chancen** bieten [Bea22-ol, S. 4], [LLS+11, S. 31]. Derart ambitionierte und anspruchsvolle Datenanalysen gehen in der Regel auch mit einer höheren Zufriedenheit der Nutzer einher [EHP15, S. 30f.], was ebenfalls für den Top-down-Ansatz spricht. Daher sind zuerst die Ziele der Datenanalyse zu definieren und dann die benötigten Daten daraus abzuleiten [LLS+11, S. 31], [EHP15, S. 57]. Dieses Vorgehen hilft auch, strategisch ungünstige Lücken in der Dateninfrastruktur aufzudecken [LLS+11, S. 26]. Verschiedene Studien merken jedoch auch **Schwierigkeiten** bei der Identifizierung relevanter **Ziele** an [WTH+17, S. 6], [EHP+17, S. 32].

Neben einer Definition der Ziele ist es außerdem wichtig, diese angemessen zu operationalisieren. Eine vom Data Science-Portal KAGGLE durchgeführte Umfrage mit 16.000 Teilnehmern belegt, dass Data Scientists es als eine der größten **Herausforderungen** betrachten, wenn sie keine klaren **Fragen** von der **Geschäfts- bzw. Produktseite** genannt bekommen [Tho17-ol]. Zur Formulierung von Fragen zeigt die Literatur, dass vor allem offene Fragen Nutzen stiften, die nicht nur der Überprüfung vorhandenen Wissens dienen, sondern gezielt Wissenslücken adressieren [EFS16, S. 902], [WSK+17, S. 820]. Außerdem sollen Fragen zunächst von Domänenexperten fachspezifisch gestellt und erst anschließend in analysierbare Fragen transformiert werden [Ber19, S. 56], [MWM+19, S. 12]. Damit bei der Transformation der Fragen keine Fehler unterlaufen, müssen Produkt- und Analytics-Experten eine gemeinsame Kommunikationsebene finden [MWM+19, S. 12], [LRS19, S. 285ff.]. Einige Autoren fordern dafür sogar schon die Rolle des Analytics-Übersetzers als Bindeglied zwischen Produkt- und Analytics-Experten [MWM+19, S. 16], [HLM18-ol], [HMM+19-ol], [Mar18-ol].

Zur Sicherstellung der Realisierbarkeit der Use Cases sollte außerdem bereits in der Planung die **Analytics-Leistungsfähigkeit** des Unternehmens analysiert werden. Dabei sind unter anderem folgende Aspekte relevant: die Anzahl an Aktoren und Sensoren in den Produkten; die Vergleichbarkeit und Komplexität der Produkte im Betrieb; die Betriebsdauern der Produkte; das Vorhandensein von digitalen Netzinfrastrukturen zur Datenakquisition; und die Bereitschaft der Kunden, Betriebsdaten mit dem Hersteller zu teilen [WSK+17, S. 821], [DWH+21, S. 3306], [HSU+16, S. 485ff.].

Sollen diese Rahmenbedingungen verbessert werden, drohen mitunter **Interessenskonflikte**. So muss z. B. beachtet werden, dass die Kosten des Produkts durch das Retrofitting von Sensoren zur Aufnahme benötigter Daten steigen [PH14, S. 82], [WSK+17, S. 821].

Die Beantwortung der gestellten Fragen muss in so einem Fall so relevant und wertvoll sein, dass die Nachrüstung von Sensorik ökonomisch sinnvoll ist [vOL12, S. 872], [HSU+16, S. 487], [GBT+20, S. 9], [WTH+17, S. 6], [DWH+21, S. 3306].

Abschließend werden in der Literatur noch einige mögliche **Use Cases für Betriebsdaten-Analysen in der strategischen Produktplanung** genannt. Dazu zählen z. B. die Identifizierung von Kundenbedürfnissen und -präferenzen, die Bildung von Kundensegmenten, die Identifizierung von Nutzungsprofilen, die Ableitung notwendiger Produktvarianten, die Quantifizierung der Leistung des Produkts im Betrieb und die Untersuchung von Belastungen im Betrieb [HUB16, S. 21f.], [SVA+17, S. 13], [FZZ+20, 3], [MBP21, S. 3], [PH14, S. 73ff.], [vOL12, S. 872]. Dabei sei darauf hingewiesen, dass die Nennung von Use Cases in fast allen Artikeln auf wenige Beispiele beschränkt ist und es **keine dedizierte und umfassende Use-Case-Sammlung** für Betriebsdaten-Analysen in der strategischen Produktplanung gibt.

2.4.3.2 Ergebnisse der empirischen Untersuchungen

Die **Bedeutung der Planung** von Betriebsdaten-Analysen hat sich im Konsortialforschungsprojekt DizRuPt sehr deutlich gezeigt. Ohne die Definition konkreter Use Cases fiel es den Anwenderunternehmen schwer, Startpunkte für die Analyse von Betriebsdaten zu finden. Das Projekt zeigte dabei auch deutlich, dass die **Ressourcen für derartige Datenanalysen sehr begrenzt** sind und deshalb eine **Fokussierung auf einige wenige Use Cases** mit einem hohen Nutzenversprechen essentiell ist. Dabei stellte sich heraus, dass die Produktvision und die Produktstrategie sehr geeignete Quellen für die Identifizierung relevanter Ziele für Betriebsdaten-Analysen darstellen, da sie die Vorstellungen der Unternehmen zusammenfassen, wie das Produkt in Zukunft erfolgreich sein soll.

Für die Operationalisierung der Use-Case-Ziele wurde im Rahmen des Projektes der Einsatz von **Hypothesen** und **Fragen** untersucht. Hypothesen beschreiben dabei vermutete Zusammenhänge, die es mit Betriebsdaten zu prüfen gilt [MFM+20a, S. 966f.], z. B. über das Nutzer- oder Produktverhalten [MMD+19, S. 994]. Fragen zeichnen sich hingegen durch ihre Ergebnisoffenheit aus. Beim Einsatz der Hypothesen fiel auf, dass es oftmals **zahlreiche mögliche Ursachen** für ein zu untersuchendes Phänomen gab. Dies hatte zur Folge, dass die Praxispartner auch entsprechend viele Hypothesen formulieren mussten, ohne sich sicher zu sein, dass die wahre Ursache tatsächlich erfasst wurde. Weitere Hindernisse stellten die Spezifizierung und Quantifizierung der Hypothesen dar. Hier konnten die Praxispartner in vielen Fällen gar nicht einschätzen, welche Werte sinnvoll wären und legten dann teilweise willkürlich Werte fest [MFM+20c, S. 59], [MFM+20b, S. 166]. Insgesamt zeigte sich, dass Hypothesen nur dann eingesetzt werden sollten, wenn ein belastbarer Verdacht auf einen Zusammenhang besteht und dieser explizit überprüft werden soll.

Zur **Formulierung von Fragen** lieferte die Studie W1 umfangreiche Erkenntnisse [MPK+21, S. 1181ff.]. So konnte im Vergleich zur Aufstellung von Hypothesen festgestellt werden, dass es den Teilnehmern grundsätzlich leichter fiel, Fragen zu formulieren. Die Auswertung der Studie sowie der Teilnehmeraussagen legten aber auch nahe, dass die **Formulierung schwieriger** wird, je höher die mit der Frage adressierte **DA-Leistungsstufe** ist (z. B. deskriptiv vs. präskriptiv, siehe Abschnitt 2.2.3). Dies zeigte sich in Form abnehmender Qualität und Quantität der Fragen zu höheren DA-Leistungsstufen sowie einer immer höheren Ähnlichkeit der Fragen. Als besonders hilfreich und zum Teil auch notwendig empfanden die Teilnehmer dabei die bereitgestellten **Beispielfragen zu jeder DA-Leistungsstufe**, mit denen ihre Kreativität noch einmal deutlich angeregt werden konnte. Eine weitere Erkenntnis ist, dass die Formulierung von Fragen für komplexere Produkte als schwieriger empfunden wurde. Für diese Fälle wurde angeregt, den Fokus auf einzelne **Subsysteme** und nicht das **Gesamtsystem** zu legen. Zu berücksichtigen ist dabei jedoch auch, ob sich die Teilnehmer selbst für Produkt-Experten halten. Die Studie legt dabei nahe, dass es Produkt-Experten im Allgemeinen leichter fällt als Laien, sinnvolle Fragen zu formulieren [MPK+21, S. 1181ff.].

Eine Analyse der in der Studie W1 identifizierten **Fragen** zeigt, dass diese für verschiedene Produkte **Ähnlichkeiten** aufweisen und auch leicht von einem Produkt auf ein anderes **übertragen** werden können. Dies legt nahe, dass es **produktunabhängige Use Cases mit generischen Fragen** gibt, die für verschiedene Produkte ausgeprägt werden können [MPK+21, S. 1184]. In Interviewstudie I1 wurden **zehn potentielle Use Cases** identifiziert, die in Tabelle 2-2 aufgeführt sind [MFK+22a, S. 7ff.]. Dazu sei jedoch angemerkt, dass alle Interviewpartner nur eine Teilmenge der potentiellen Use Cases nannten.

Tabelle 2-2: Im Rahmen der Interviewstudie I1 identifizierte potentielle Use Cases [MFK+22a, S. 7ff.]

Potentielle Use Cases			
1	Analyse der Fehler	6	Analyse der Prozessqualität
2	Analyse des Verschleißes	7	Analyse der Nutzerbedürfnisse
3	Analyse der Belastung	8	Analyse der Featurenutzung
4	Analyse der Lösungsalternativen	9	Analyse der Produktnutzung
5	Analyse der Produktivität	10	Analyse der Produktvarianten

Neben diesen Erkenntnissen zur Formulierung von Fragen konnte die Studie außerdem zeigen, dass Analytics-Experten neben den Fragen **weitere Informationen** benötigen, um die weiteren Schritte der Datenanalyse adäquat voranzutreiben [MPK+21, S. 1183]. Dazu zählen **Kontextinformationen** wie das Ziel der Datenanalyse und auch Erwartungen an die Durchführung der Betriebsdaten-Analyse, da diese den Gestaltungsraum der Analytics-Experten einschränken können. Außerdem müssen die zu analysierenden **Betriebsdaten** genannt werden. Im Projekt DizRuPt zeigte sich hierbei, dass diese in den

Anwenderunternehmen sehr **unterschiedlich benannt und kategorisiert** werden. Um die Identifizierung der erforderlichen Betriebsdaten zu unterstützen und die Kommunikation zwischen Produkt- und Analytics-Experten zu erleichtern, hat sich im Projekt die Erstellung von **Wirkstruktur- und Umfeldmodellen** des betrachteten Produkts bewährt.

In der Interviewstudie I1 konnten darüber hinaus fünf übergeordnete **Herausforderungen** ermittelt werden, mit denen sich die Unternehmen im Hinblick auf die Betriebsdatengestützte Produktplanung konfrontiert sehen und die es bei der Planung zu berücksichtigen gilt [MFK+22a, S. 9ff.]: (1) die zum Teil hohe **Komplexität** der Produkte, die schnelle Datenanalysen und Schlussfolgerungen verhindert; (2) zu **geringe Mengen erzeugter Betriebsdaten** der Produkte aufgrund fehlender Sensoren, Aktoren und Konnektivitätselemente oder eines hohen Individualisierungsgrads der Produktinstanzen, der die Anzahl vergleichbarer Produktinstanzen im Betrieb signifikant reduziert und aufgrund fehlender Dokumentation zum Teil nicht mehr nachvollziehbar ist; (3) zu **geringe Mengen rückgekoppelter Betriebsdaten** aufgrund fehlender Kundenbereitschaft oder einer unzureichenden digitalen Netzinfrastruktur am Betriebsort; (4) das **Fehlen geeigneter Prozesse** sowie ihre Unterstützung durch eine digital durchgängige Daten-Infrastruktur; (5) geringe **DA-Kompetenzen, fehlende Kooperationen** von Produkt- und Analytics-Experten und **mangelnde Bereitschaft** zur Beschäftigung mit dem Thema im eigenen Unternehmen [MFK+22a, S. 9ff.]. Die individuellen Ausprägungen dieser Herausforderungen müssen in der Planung von Betriebsdaten-Analysen berücksichtigt werden.

2.4.3.3 Identifizierte Schlüsselfaktoren

Aus den Untersuchungen geht die große Bedeutung der Planung von Betriebsdaten-Analysen in der strategischen Produktplanung hervor. Eine unzureichende Planung stellt ein großes Risiko für die Durchführbarkeit und den Nutzen der Betriebsdaten-Analysen dar. Die Literaturanalyse und die eigenen empirischen Untersuchungen zeigen dabei vier Schlüsselfaktoren, die zu einer erfolgreichen Planung beitragen:

- (1) Einen besonders hohen Nutzen versprechen Betriebsdaten-Analysen, wenn sie zur Bewältigung großer Herausforderungen und zur Erreichung attraktiver Ziele beitragen. So lassen sich auch zusätzliche Aufwände rechtfertigen, die in Folge der Betriebsdaten-Analysen entstehen. Die **Fokussierung auf relevante Ziele** ist daher der erste Schlüsselfaktor.
- (2) Die Untersuchungen decken des Weiteren zahlreiche unternehmensabhängige Aspekte auf, die einen erheblichen Einfluss auf die Betriebsdaten-Analysen haben. Dazu zählen z. B. die Anzahl von Produktinstanzen im Betrieb und die Bereitschaft der Kunden, Betriebsdaten mit dem Hersteller zu teilen. Den zweiten Schlüsselfaktor repräsentiert daher die **Berücksichtigung unternehmensabhängiger Stärken und Schwächen**.
- (3) Während relevante Ziele die Richtung der Betriebsdaten-Analyse vorgeben sollen, sind Analytics-Experten auf weitere Informationen zu den durchzuführenden

Datenanalysen angewiesen. Dabei müssen z. B. die Rahmenbedingungen, die zu beantwortenden Fragen und die zu untersuchenden Daten festgelegt werden. Der dritte Schlüsselfaktor ist damit die **Konkretisierung der Ziele der Betriebsdaten-Analyse**.

- (4) Abschließend zeigen die eigenen empirischen Untersuchungen, dass es Produktexperten aus der Praxis erheblich leichter fällt, eigene Use Cases zu definieren, wenn sie sich an konkreten Beispielen orientieren können. Die Untersuchungen legen außerdem nahe, dass produktunabhängige Use Cases für die Betriebsdaten-gestützte Produktplanung existieren. Die **Orientierung an Use-Case-Beispielen** ist daher der vierte Schlüsselfaktor.

Die identifizierten Schlüsselfaktoren für die erfolgreiche Planung von Betriebsdaten-Analysen in der strategischen Produktplanung sind in Bild 2-15 dargestellt.

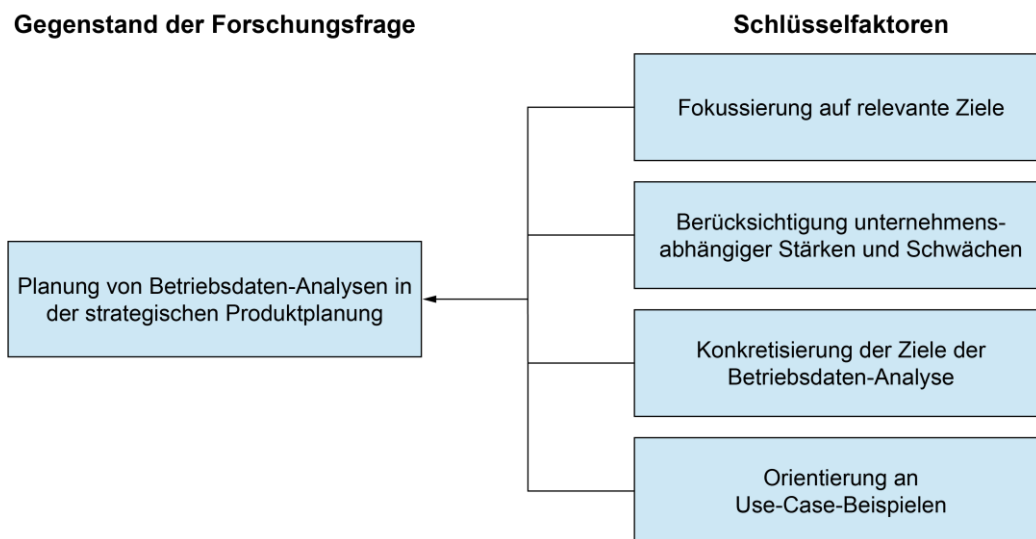


Bild 2-15: Identifizierte Schlüsselfaktoren für die zweite Forschungsfrage

2.4.4 Untersuchungsergebnisse zur Verwertung von Betriebsdaten-Analysen in der strategischen Produktplanung

Wie in den vorherigen Abschnitten werden auch in diesem Abschnitt zuerst die Ergebnisse der Literaturanalyse präsentiert. Nach der anschließenden Vorstellung der Ergebnisse der eigenen empirischen Untersuchungen folgen die Diskussion der Ergebnisse und die Schlussfolgerungen.

2.4.4.1 Ergebnisse der Literaturanalyse

Wie Betriebsdaten-Analysen verwertet werden, hängt von der betrachteten **Phase des Produktentstehungsprozesses** ab. Dabei werden der **Knowledge Value Stream** und der **Product Value Stream** unterschieden (Abschnitt 2.3.1). In Ersterem werden Betriebsda-

ten-Analysen eingesetzt, um Entscheidungsträger besser über die vorherrschende Situation sowie verfügbare **Verbesserungspotentiale** zu informieren – die Datenanalysen adressieren damit den **Problemraum**. In Letzterem dienen Betriebsdaten-Analysen hingegen vor allem der **Ausarbeitung** der Produkte im **Lösungsraum** [BYB+20, S. 77f.]. Betriebsdaten speisen dabei z. B. Simulationsmodelle, mit denen Produkt-Parameter bestimmt und verglichen werden [KvH+17, S. 2632ff.], [ALW+11, S. 6ff.]. Den Unterschied zwischen Knowledge und Product Value Stream zeigen BERTONI ET AL. sehr anschaulich am Beispiel eines Radladers. Zunächst setzen sie im Schritt *Know your product* Datenanalysen ein, um das Produkt und sein Verhalten im Betrieb besser zu verstehen und zu prüfen, ob und welche Verbesserungspotentiale es gibt (Knowledge Value Stream). Im anschließenden Schritt *Learn about new design* nutzen sie DA, um die Leistung verschiedener neu entwickelter Design-Konzepte für den Radlader zu vergleichen (Product Value Stream) [BLL+17, S. 25ff.]. Für die Verwertung von Betriebsdaten-Analysen in der strategischen Produktplanung liefern die Datenanalyse-Ergebnisse demnach **keine unmittelbaren Handlungsempfehlungen**. Vielmehr müssen Erfolg versprechende Handlungsoptionen und konkrete Maßnahmen systematisch **aus den Datenanalyse-Ergebnissen herausgearbeitet** werden.

Der erste Schritt ist die **Interpretation der Datenanalyse-Ergebnisse**. Diese verändert sich im Zeitalter von Big Data grundlegend und damit auch die Art, wie aus Daten Informationen und Wissen gewonnen werden [SKI+17, S. 274]. Experten gehen dabei davon aus, dass die Interpretation von Datenanalyse-Ergebnissen in Zukunft eine **entscheidende Wettbewerbsfähigkeit** darstellen wird, um wertvolle Erkenntnisse aus stetig zunehmenden Datenmengen zu gewinnen [IE20, S. 41]. Da Unternehmen gegenwärtig noch umfangreiche **Probleme mit der Interpretation von Datenanalyse-Ergebnissen** haben [WSK+17, S. 821], stellt sich die Frage, was für eine erfolgreiche Dateninterpretation beachtet werden muss. In der Literatur werden dabei verschiedene Faktoren genannt, die neben den Datenanalyse-Ergebnissen bei der Interpretation berücksichtigt und diskutiert werden sollten, z. B. die Herkunft der Daten, ihre Qualität sowie ihre Erhebungs- und Analyseprozesse [GBT+20, S. 9], [WBR+22, S. 1810ff.], [JvW17, S. 342], [Ber18, S. 1110]. Außerdem soll im Interpretationsprozess ein umfangreicher **Wissensaustausch zwischen Produkt- und Datenexperten** stattfinden und das unterschiedliche Wissen (z. B. über das Produkt und über die Datenanalyse) miteinander kombiniert werden [WBR+22, 1812], [JvW17, S. 342].

Erschwert wird die Interpretation dadurch, dass die Datenanalyse-Ergebnisse oft **nicht in der Sprache der Produkt- und Geschäftsexperten**, sondern in der von Analytics-Experten präsentiert werden und in der Folge nicht die gewünschten Effekte erzielen [Ber19, S. 53]. Um dies zu umgehen, wird in der Literatur der gezielte Einsatz von **Datenvisualisierungen** und **Storytelling** empfohlen. Deren positive Effekte auf das Verständnis der Datenanalyse-Ergebnisse und die Informationsqualität für die Entscheidungsfindung sind in der Literatur ausführlich beschrieben [ZJ15, S. 71], [Wat17, S. 8f.]. Das datengetriebene Storytelling hilft nach WELBOURNE dabei, dass die Daten einen intensiven Dialog

unter den Stakeholdern entfachen, mit dem ihre Botschaften im Gedächtnis bleiben, Handlungen ausgelöst und Ergebnisse erzielt werden [Wel15, S. 32]. Storytelling nimmt damit die Rolle als Mediator zwischen den DA-Ergebnissen und den daraus folgenden Handlungen ein [GC20, S. 2] und kann zu nachhaltigen Veränderungen führen [Bol19, S. 1147f.]. Einige Autoren beschreiben darüber hinaus auch, wie Datenvisualisierungen und Storytelling zum sog. visuellen Storytelling kombiniert werden [Rya16], [Nus15].

Für die weitere Verwertung der interpretierten Datenanalyse-Ergebnisse sowie der daraus abgeleiteten Erkenntnisse und Verbesserungspotentiale werden in der Literatur im Wesentlichen die **etablierten Prozessschritte der strategischen Produktplanung** genannt. Im Gegensatz zur Interpretation werden bei diesen **keine umfassenden Veränderungen** erwartet. Dies verwundert nicht, denn nach der Interpretation sollten sich die identifizierten Verbesserungspotentiale nicht mehr von anders identifizierten Potentialen unterscheiden. Von daher passen sich die weiteren Prozessschritte nicht an die Daten an, sondern umgekehrt müssen die Daten die etablierten Prozessschritte möglichst effizient unterstützen [LLS+11, S. 22], [GBT+20, S. 10]. WU ET AL. stellen dabei im Rahmen einer umfassenden Umfrage und Patentanalyse fest, dass mit den Daten bestehender Produkte vor allem eben diese bestehenden Produkte verbessert werden können und die Generierung gänzlich neuer Ideen weniger unterstützt wird [WHL20, S. 2036]. Dies ist konsistent zu den Ausführungen zum Ablaufkonzept in Abschnitt 2.3.1.

2.4.4.2 Ergebnisse der empirischen Untersuchungen

Wie Abschnitt 2.4.2.2 bereits darlegt, integriert keines der in den empirischen Untersuchungen berücksichtigten Unternehmen bereits Betriebsdaten-Analysen in die strategische Produktplanung. Entsprechend **gering** ist auch die **Erfahrung** mit der systematischen Verwertung von Betriebsdaten-Analysen. Wenn überhaupt, wurden Datenanalyse-Ergebnisse bisher **unsystematisch** und nur **sporadisch** zur Verbesserung einer neuen Produktgeneration genutzt. Neben den fehlenden Datenanalyse-Ergebnissen stellte sich dabei auch heraus, dass den betrachteten Unternehmen grundsätzlich ein **methodisches Vorgehen** zur Planung neuer Produktgenerationen fehlt – egal, ob Datenanalyse-Ergebnisse oder andere Informationen die Verbesserungspotentiale aufzeigen. Mehrere Unternehmen im Konsortialforschungsprojekt DizRuPt besaßen z. B. weder eine konkrete Produktvision noch eine Produktstrategie und wussten auch nicht, wie sie diese erarbeiten und darstellen könnten. Eine mögliche Ursache für diese **methodischen Mängel** wurde in der Interviewstudie I2 identifiziert: In dieser beschrieben mehrere Unternehmensvertreter die Planung neuer Produktgenerationen als sehr komplex. Neue Produktgenerationen müssten demnach regelmäßig definiert werden. Vorhandene Methoden seien jedoch **zu aufwendig** und damit **ungeeignet** für die Praxis [MHS+24]. Dies stellt einen allgemeinen Handlungsbedarf zur **methodischen Unterstützung** der Planung neuer Produktgenerationen dar.

Bezogen auf die Verwertung von Betriebsdaten-Analysen in solch einem Prozess wurde die **Interpretation der Datenanalyse-Ergebnisse** als überaus anspruchsvolle Aufgabe wahrgenommen. In der Studie W2 wurden daher unter anderem Aspekte identifiziert, die bei der Interpretation von Datenanalyse-Ergebnissen beachtet werden müssen. Diese sind in Tabelle 2-3 aufgeführt.

Tabelle 2-3: Zu berücksichtigende Aspekte für die Interpretation der Datenanalyse-Ergebnisse

Nr.	Aspekte
1	Heterogenes Team zusammenstellen
2	Kontext und Limitationen der Datenerhebung und -analyse berücksichtigen
3	Biases und Subjektivität in der Interpretation aufdecken
4	Produktexperten zur Evaluation der Datenanalyse-Ergebnisse einbinden
5	Interpretationen mit Informationen aus anderen Quellen abgleichen

Zu den auf die Interpretation folgenden **Prozessschritten** zur Planung neuer Produktgenerationen herrschte die Meinung vor, dass sich diese **nicht grundsätzlich verändern**, sondern im Wesentlichen so ablaufen werden, wie es auch bei anderen Informationsquellen der Fall wäre [MFK+22b, S. 7]. Dennoch solle nicht der Fehler begangen werden, die Prozessschritte nach der Interpretation als **losgelöst** von der Betriebsdaten-Analyse zu betrachten. Um den Nutzen der gewonnenen Erkenntnisse systematisch auszuschöpfen, nannten die Unternehmensvertreter in der Studie W2 daher sechs Aspekte, die dringend zu berücksichtigen seien. Tabelle 2-4 stellt diese dar.

Tabelle 2-4: Zu berücksichtigende Aspekte für die weitere Verwertung der interpretierten Datenanalyse-Ergebnisse

Nr.	Aspekte
1	Zielsystem des Produkts auf notwendige Variationen prüfen
2	Validierte und variierte Aspekte in Artefakten kennzeichnen
3	Technische Auswirkungen von Datenanalyse-Ergebnisse modellieren
4	Konsistenz neuer Lösungen mit Datenanalyse-Erkenntnissen prüfen
5	Chancen und Risiken von Lösungsalternativen bewerten
6	Verwertungsprozess und -ergebnisse zusammenfassen

2.4.4.3 Identifizierte Schlüsselfaktoren

Die Literaturanalyse und die eigenen empirischen Untersuchungen legen nahe, dass sich die strategische Produktplanung in Folge von Betriebsdaten-Analysen nicht grundlegend ändert. Vielmehr geht es darum, die Betriebsdaten-Analysen verwertbar zu machen und die etablierten Schritte damit geeignet zu unterstützen. Für die erfolgreiche Verwertung

von Betriebsdaten-Analysen in der strategischen Produktplanung stechen dabei drei Schlüsselfaktoren hervor:

- (1) Datenanalyse-Ergebnisse stellen eine neue Informationsart für die strategische Produktplanung dar. Im Gegensatz zu anderen Informationsarten ist deren Interpretation aber wesentlich weniger intuitiv. Sowohl in der Literatur als auch in den eigenen empirischen Untersuchungen werden dabei zahlreiche Aspekte genannt, die bei der Interpretation von Datenanalyse-Ergebnissen zu beachten sind. Beispiele sind der Kontext der Datenerhebung sowie die Art der durchgeführten Datenanalyse. All diese Aspekte müssen integriert betrachtet werden, um das Risiko von Fehlinterpretationen zu reduzieren. Die **umfassende Interpretation der Datenanalyse-Ergebnisse** repräsentiert daher den ersten Schlüsselfaktor.
- (2) Sind die Datenanalyse-Ergebnisse erst einmal interpretiert und die wesentlichen Erkenntnisse gewonnen, können sie wie etablierte Informationsarten in der Planung neuer Produktgenerationen verwertet werden. In den eigenen empirischen Untersuchungen zeigte sich jedoch, dass viele produzierende Unternehmen methodische Schwierigkeiten mit der Planung neuer Produktgenerationen haben. So betrachten sie vorhandene Methoden als zu aufwendig für die Praxis. **Adäquate Methoden zur Planung neuer Produktgenerationen** stellen demnach den zweiten Schlüsselfaktor dar.
- (3) Auch nach einem umfassenden Interpretationsprozess ist die erfolgreiche Verwertung von Betriebsdaten-Analysen noch nicht sichergestellt. Insbesondere in den eigenen empirischen Untersuchungen zeigte sich, dass auch die auf die Interpretation folgenden Prozessschritte immer wieder mit den Datenanalyse-Ergebnissen verwoben werden müssen. Auch in der Literatur wird diesbezüglich betont, dass die Daten die etablierten Schritte unterstützen sollen. Als dritter Schlüsselfaktor präsentiert sich daher die gezielte **Berücksichtigung der Datenanalyse-Ergebnisse im Produktplanungsprozess**.

In Bild 2-16 sind die identifizierten Schlüsselfaktoren für die Verwertung von Betriebsdaten-Analysen in der strategischen Produktplanung zusammengefasst.

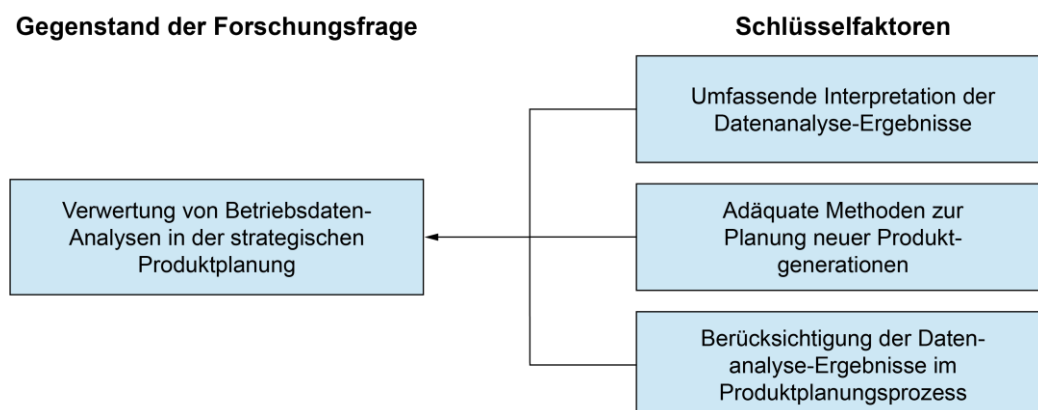


Bild 2-16: Identifizierte Schlüsselfaktoren für die dritte Forschungsfrage

2.5 Anforderungen

In diesem Abschnitt werden die Anforderungen an eine Systematik zur Planung und Verwertung von Betriebsdaten-Analysen in der strategischen Produktplanung vorgestellt. Sie sind anhand der drei Forschungsfragen aus Abschnitt 2.3.3 strukturiert und adressieren die in Abschnitt 2.4 identifizierten Schlüsselfaktoren.

Anforderungen an die Integration von Betriebsdaten-Analysen in die strategische Produktplanung

A1) Bereitstellung eines Referenzmodells für die strategische Planung neuer Produktgenerationen: Eine wichtige Voraussetzung für die Betriebsdaten-gestützte Produktplanung ist der Aufbau eines grundlegenden Verständnisses, wie neue Produktgenerationen strategisch geplant werden (Abschnitt 2.4.2.3). Die Systematik soll daher ein Referenzmodell bereitstellen, das ebendies explizit beschreibt. Dieses soll die Grundlage für die Betriebsdaten-gestützte Produktplanung darstellen und die Verankerung von Betriebsdaten-Analysen ermöglichen.

A2) Bereitstellung eines Referenzprozesses für die Betriebsdaten-gestützte Produktplanung: Die Untersuchungen zeigen, dass ein dedizierter Prozess für die Betriebsdaten-gestützte Produktplanung erforderlich ist (Abschnitt 2.4.2.3). Mit der Systematik soll daher ein Referenzprozess für die Betriebsdaten-gestützte Produktplanung in produzierenden Unternehmen bereitgestellt werden. Dieser soll die Abläufe darstellen, wie Betriebsdaten-Analysen im Rahmen der strategischen Produktplanung eingesetzt werden können.

Anforderungen an die Planung von Betriebsdaten-Analysen in der strategischen Produktplanung

A3) Ermittlung relevanter Untersuchungsbedarfe: Um den Nutzen und die Akzeptanz von Betriebsdaten-Analysen zu maximieren, ist die Fokussierung auf relevante Ziele sicherzustellen (Abschnitt 2.4.3.3). Die Systematik soll daher die Ermittlung relevanter Untersuchungsbedarfe unterstützen. Dabei sollen insbesondere Elemente aus der Produktvision oder der Produktstrategie als Ausgangspunkt für Betriebsdaten-Analysen in Betracht gezogen werden (Abschnitt 2.4.3.2).

A4) Ermittlung eines Stärken-Schwächen-Profiles für Betriebsdaten-Analysen: Während der Planung müssen produzierende Unternehmen berücksichtigen, welche Stärken und Schwächen sie im Hinblick auf die Durchführung von Betriebsdaten-Analysen besitzen (Abschnitt 2.4.3.3). Entsprechend soll die Ermittlung eines geeigneten Stärken-Schwächen-Profiles Teil der Systematik sein. In diesem sollen Kriterien wie die Kunden-Bereitschaft zur Betriebsdaten-Bereitstellung bewertet werden, um Rückschlüsse auf die Ausgestaltung von Betriebsdaten-Analysen zu ermöglichen (Abschnitt 2.4.3.1 und Abschnitt 2.4.3.2).

A5) Definition Erfolg versprechender, realistischer Use Cases: Entscheidend für die Zusammenarbeit mit Analytics-Experten ist die systematische Konkretisierung der Ziele

für die Betriebsdaten-Analysen (Abschnitt 2.4.3.3). Die Systematik soll deshalb die Definition Erfolg versprechender, realistischer Use Cases sicherstellen. Dabei sollen der Gegenstand und die Rahmenbedingungen der Datenanalyse festgelegt, konkrete Fragen formuliert und zu analysierende Daten benannt werden.

A6) Bereitstellung von Gestaltungswissen für die Use-Case-Definition: Produktexperten generieren mehr und hochwertigere Use Cases, wenn sie sich an Beispielen orientieren können (Abschnitt 2.4.3.2 und Abschnitt 2.4.3.3). Als Teil der Systematik soll daher umfangreiches Gestaltungswissen für die Use-Case-Definition bereitgestellt werden. Dieses soll Auskunft geben über mögliche Themen, beispielhafte Fragen sowie relevante Betriebsdaten.

Anforderungen an die Verwertung von Betriebsdaten-Analysen in der strategischen Produktplanung

A7) Gewährleistung einer umfassenden Interpretation der Datenanalyse-Ergebnisse: Für eine erfolgreiche Verwertung der Betriebsdaten-Analysen ist es entscheidend, dass die Datenanalyse-Ergebnisse umfassend interpretiert werden (Abschnitt 2.4.4.3). Die Systematik soll dies gewährleisten. Dabei sind die Aspekte zu berücksichtigen, die im Rahmen der Literaturanalyse und der eigenen empirischen Untersuchungen identifiziert wurden (Abschnitt 2.4.4.1 und Abschnitt 2.4.4.2).

A8) Beschreibung der methodischen Planung neuer Produktgenerationen: Die empirischen Untersuchungen zeigen, dass produzierende Unternehmen die Planung neuer Produktgenerationen als sehr komplex und aufwendig betrachten und es einer effizienten methodischen Unterstützung bedarf (Abschnitt 2.4.4.2 und Abschnitt 2.4.4.3). Im Rahmen der Systematik soll daher beschrieben werden, wie neue Produktgenerationen methodisch geplant werden können. Die beschriebenen Methoden sollen sich dabei durch ihre Praxistauglichkeit auszeichnen.

A9) Verknüpfung der Datenanalyse-Ergebnisse mit dem Produktplanungsprozess: Auch nach ihrer Interpretation sind die Datenanalyse-Ergebnisse in der strategischen Produktplanung zu berücksichtigen (Abschnitt 2.4.4.3). Die Systematik soll deshalb die Verknüpfung der Datenanalyse-Ergebnisse mit dem Produktplanungsprozess gewährleisten. Dabei ist auszugestalten, wie die erfolgreiche Verwertung von Betriebsdaten-Analysen in der strategischen Produktplanung sichergestellt werden kann.

3 Stand der Forschung

“If I have seen further, it is by standing on the shoulders of giants.”
– SIR ISAAC NEWTON [New75]

Vor dem Hintergrund der Anforderungen aus Abschnitt 2.5 wird in diesem Kapitel der Stand der Forschung untersucht. Konkret geschieht dies durch Beschreibung und Bewertung ausgewählter populärer, oft zitierter bzw. inhaltlich relevanter Ansätze. Ziel dieser Untersuchung ist der Handlungsbedarf [BC09, S. 147] für eine Systematik zur Planung und Verwertung von Betriebsdaten-Analysen in der strategischen Produktplanung. In Abschnitt 3.1 werden dedizierte konkurrierende Ansätze zur Betriebsdaten-gestützten Produktplanung und -entwicklung untersucht. Danach werden in Abschnitt 3.2 ausgewählte Ansätze zum Einsatz von Data Analytics und in Abschnitt 3.3 ausgewählte Ansätze zur Produktgenerationsplanung bewertet. Dies dient der Überprüfung, ob z. B. eine einfache Kombination eines Data-Analytics-Ansatzes und eines Ansatzes zur Produktgenerationsplanung zur Erfüllung aller Anforderungen ausreichen würde. Im abschließenden Abschnitt 3.4 wird der resultierende Handlungsbedarf entlang der Anforderungen abgeleitet.

3.1 Konkurrierende Ansätze zur Betriebsdaten-gestützten Produktplanung und -entwicklung

Wenngleich die Betriebsdaten-gestützte Produktplanung ein neues Forschungsfeld ist, gibt es bereits einige Arbeiten zur Nutzung von Betriebsdaten in der Produktplanung und -entwicklung. In diesem Abschnitt werden acht ausgewählte Ansätze untersucht, in denen Betriebsdaten sowie deren Analysen bereits mit den Tätigkeiten der Produktplanung und -entwicklung verbunden werden. Sie repräsentieren inhaltlich konkurrierende Ansätze.

3.1.1 Analyse von Daten zur Entscheidungsunterstützung bei der Produktverbesserung nach DIENST

Einen der frühesten Ansätze zur Betriebsdaten-gestützten Produktentwicklung stellt DIENST mit einem Assistenzsystem vor, das Produktentwickler bei der Analyse von Betriebsdaten¹³ in der Produktverbesserung unterstützt [Die14]. Im Fokus steht dabei die Verbesserung von Industriegütern, die strukturierte Betriebsdaten erzeugen. Mit dem Assistenzsystem soll ein Feedbackfluss der Betriebsdaten in die Produktentwicklung umgesetzt werden. In diesem Feedbackfluss werden zunächst Daten aus dem Betrieb bestehender Produktinstanzen akquiriert, gespeichert, analysiert und visualisiert. Anschließend werden sie zur Verbesserung der nächsten Produktgeneration eingesetzt. Bild 3-1 zeigt den Feedbackfluss des Assistenzsystems.

¹³ DIENST spricht in ihrer Arbeit nicht von Betriebsdaten, sondern von Maschinen- oder Feedbackdaten. Sie meint mit beiden Begriffen jedoch Betriebsdaten [Die14, S. 17ff.].

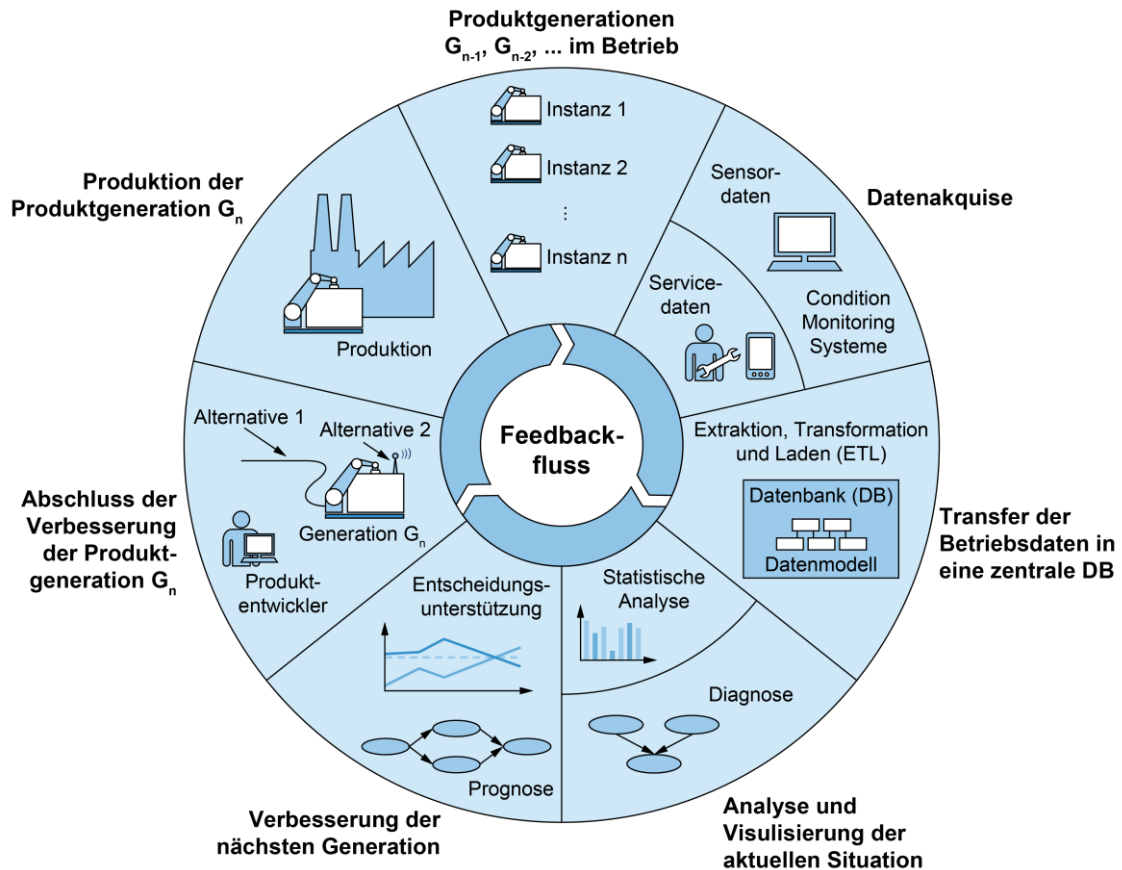


Bild 3-1: Feedbackfluss des Assistenzsystems nach DIENST [Die14, S. 36]

Das Assistenzsystem basiert auf Technologien zur Datenverwaltung und -analysen sowie einer methodischen Unterstützung der Produktentwickler. Da die Datenverwaltung und -analyse in der vorliegenden Arbeit nicht betrachtet werden, werden sie auch in diesem Abschnitt nicht weiter ausgeführt. Die methodische Unterstützung des Assistenzsystems unterteilt DIENST in zwei Schwerpunkte: (1) die Analyse der aktuellen Situation (G_{n-1}) und (2) die Entscheidungsunterstützung bei der Verbesserung der nächsten Generation (G_n)¹⁴. Vor diesem Hintergrund stellt sie drei Methoden bereit, die jeweils einen Anwendungsfall fokussieren. Die ersten beiden Methoden adressieren die Datenanalyse (1. Schwerpunkt), die dritte Methode die Entscheidungsunterstützung während der Produktverbesserung (2. Schwerpunkt). Die Methoden werden nachfolgend vorgestellt.

- (1) **Auslösen der Produktverbesserung:** Diese Methode dient der quantitativen Evaluation der Anforderungen an das Produkt mit Hilfe von Kennzahlen, die aus den Betriebsdaten berechnet werden. Die Kennzahlen werden in Reports zusammengefasst und zeigen Produktentwicklern damit nicht-erfüllte Anforderungen des Produkts auf. Umgesetzt werden die Reports in Form von Dashboards, die

¹⁴ DIENST spricht von der aktuellen Generation als Produkt_n und von der nächsten Produktgeneration als Produkt_{n+1}. Aus Konsistenzgründen wird jedoch die bereits in der Problemanalyse eingeführte Schreibweise verwendet (Abschnitt 2.1.2).

interaktiv genutzt werden können und verschiedene Ansichtsmöglichkeiten bieten [Die14, S. 67ff.].

- (2) **Aufdecken von Schwachstellen:** Diese Methode soll Produktentwicklern bei der Wissensgenerierung aus Betriebsdaten helfen. Dafür schlägt sie den Einsatz von Bayes'schen Netzen vor. Die Methode beschreibt zunächst, wie die Betriebsdaten selektiert und vorverarbeitet werden. Anschließend werden die Anwendung eines Lernalgorithmus und die Archivierung des Bayes'schen Netzes gezeigt. Da Betriebsdaten mehrerer Produktinstanzen aufgrund verschiedener Sensoren Unterschiede aufweisen können, werden spezifische Erweiterungen der Bayes'schen Netze vorgestellt [Die14, S. 77ff.].
- (3) **Entscheidungsunterstützung bei der Verbesserung:** Diese Methode adressiert die Verbesserung der nächsten Produktgeneration. Als ersten Schritt nennt DIENST dabei die Interpretation der aktuellen Situation, mit der sie jedoch keine tatsächliche Interpretation der Datenanalyse-Ergebnisse, sondern die Anwendung der zuvor vorgestellten Methoden (1) und (2) meint. Ohne eine dedizierte Interpretation gilt es dann, ein Zielsystem mit den Kategorien Kosten, Qualität und Zeit aufzustellen und Lösungsalternativen zu identifizieren. Die Entscheidungsunterstützung schließt mit einer Gegenüberstellung und multikriteriellen Bewertung der Lösungsalternativen [Die14, S. 96ff.].

Alle drei Methoden sind als eigenständige Softwaremodule im Assistenzsystem implementiert.

Bewertung: DIENST liefert mit ihrem Assistenzsystem einen der ersten Beiträge zur Nutzung von Betriebsdaten im Produktentstehungsprozess. Die vorgestellten Anwendungsfälle und Methoden zeigen jedoch, dass die Verwaltung und Analyse der Betriebsdaten den Schwerpunkt des Assistenzsystems bilden. Für die vorliegende Arbeit ist demnach nur die Methode zur Entscheidungsunterstützung bei der Produktverbesserung relevant. Diese adressiert jedoch eher die Ausarbeitung des Produkts im Zuge der Entwicklung als die Produktplanung. Das grundsätzliche Vorgehen aus Zielsystem-Aufstellung, Lösungsalternativen-Identifizierung und anschließender Entscheidungsfindung erscheint jedoch passend.

3.1.2 Anforderungserhebung durch explorative Betriebsdaten-Analysen nach RIESENER ET AL.

RIESENER ET AL. schlagen eine Methode vor, die auf die Anforderungserhebung durch explorative Betriebsdaten-Analysen abzielt [RDL+21]. Statt bestehende Vermutungen durch Datenanalysen zu überprüfen, soll diese Methode produzierende Unternehmen dazu befähigen, neue, bisher unbekannte Beziehungen und Zusammenhänge in den Daten von Produktionsanlagen zu identifizieren. Kern der Methode ist ein vierphasiges Vorgehen, das Bild 3-2 zeigt. Die Phasen werden nachfolgend beschrieben.

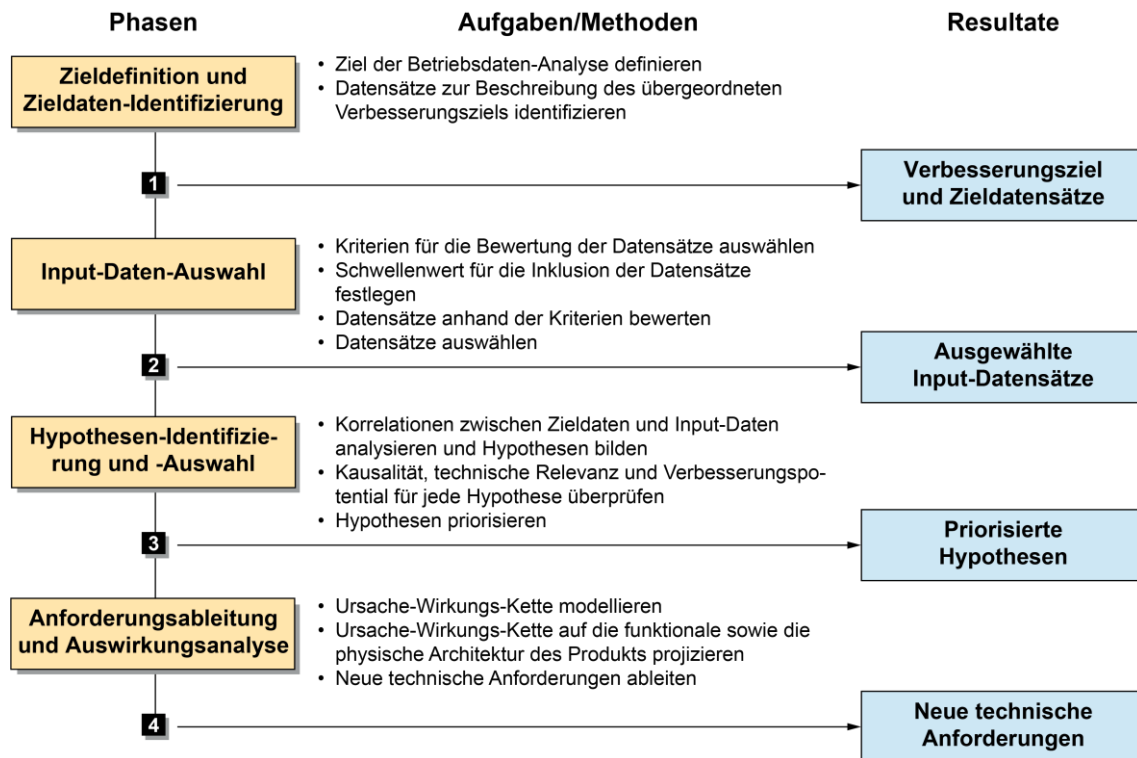


Bild 3-2: Vorgehensmodell zur Anforderungserhebung durch explorative Betriebsdaten-Analysen in Anlehnung an RIESENER ET AL. [RDL+21, S. 3ff.]

- (1) **Zieldefinition und Zieldaten-Identifizierung:** In der ersten Phase wird zunächst das Ziel der Betriebsdaten-Analyse definiert. Die Autoren schlagen in diesem Zusammenhang z. B. eine verbesserte Gesamtanlageneffektivität als übergeordnetes Ziel vor. In Abhängigkeit davon werden sog. Zieldatensätze identifiziert, mit denen dieses Ziel beschrieben werden kann, z. B. Verfügbarkeit und Qualitätsrate. Sollen einzelne Datensätze eine höhere Priorität als andere erfahren, werden die Datensätze entsprechend gewichtet [RDL+21, S. 3f.].
- (2) **Input-Daten-Auswahl:** Die zweite Phase dient der Auswahl der Daten, deren Beziehungen und Zusammenhänge zu den Zieldaten überprüft werden sollen. Um relevante Input-Daten in der Menge aller möglichen und verfügbaren Daten zu identifizieren, werden die verfügbaren Datensätze bzgl. ihres Einflusspotentials bewertet. Dafür werden Bewertungskriterien ausgewählt und ein Schwellenwert festgelegt, ab dem ein Datensatz in die Datenanalyse inkludiert wird. Abschließend werden alle Datensätze anhand der Kriterien bewertet und in Abhängigkeit ihrer Bewertungssumme und des Schwellenwerts ausgewählt [RDL+21, S. 4].
- (3) **Hypothesen-Identifizierung und -Auswahl:** In der dritten Phase findet die explorative Datenanalyse statt. Dabei werden Korrelationen zwischen den Zieldaten und den ausgewählten Input-Daten analysiert. Für positive Korrelationen werden anschließend Hypothesen gebildet, die diese beschreiben. Zur Verifikation der Ergebnisse werden im nächsten Schritt die Kausalität, die technische Relevanz und

das Verbesserungspotential aller Hypothesen untersucht. Die Autoren stellen dafür Bewertungskriterien und ein Portfolio bereit. Auf Basis der Einschätzung der drei Dimensionen werden die Hypothesen priorisiert [RDL+21, S. 4f.].

- (4) **Anforderungsableitung und Auswirkungsanalyse:** In der letzten Phase werden die Hypothesen wieder in den Produktkontext überführt. Dafür werden zunächst die Ursache-Wirkungs-Ketten modelliert, welche die Hypothesen beschreiben. Diese werden auf die funktionale und die physische Architektur des Produkts projiziert. Mit diesem Schritt werden die von der Hypothese betroffenen Funktionen und physischen Teile des Produkts identifiziert. Anschließend werden neue technische Anforderungen definiert, die positive Einflüsse auf das übergeordnete Ziel forcieren und negative Einflüsse verhindern sollen. Deren Auswirkungen werden nach der Implementierung erneut mit den Zieldaten geprüft [RDL+21, S. 5].

Bewertung: Mit dem Fokus auf explorativen Betriebsdaten-Analysen und der freien Suche nach Korrelationen in Ziel- und Input-Datensätzen stellen RIESENER ET AL. eine Methode vor, die völlig neue Einblicke in das Produkt ermöglichen soll. Sie adressieren damit Anforderungen zu allen drei Forschungsfragen, auch wenn explorative Datenanalysen nicht Ziel der zu entwickelnden Systematik sind. Die Methode zeigt jedoch ein vollständiges, konsistentes Vorgehen zur Betriebsdaten-gestützten Produktentstehung. Methodisch liefern insbesondere die dritte und vierte Phase interessante Aspekte zur Verwertung von Datenanalyse-Ergebnissen in der Produktentstehung, z. B. die Auswirkungsprüfung durch Modellierung des Produkts.

3.1.3 Entwicklung einer Betriebsdaten-Strategie nach WILBERG

WILBERG präsentiert eine Methode zur Entwicklung einer Betriebsdaten-Strategie [Wil20]. Diese soll produzierende Unternehmen befähigen, die Mehrwerte von Betriebsdaten für das eigene Unternehmen auszuschöpfen und Nutzen für interne und externe Stakeholder zu erzielen [Wil20, S. 4]. Kern der Arbeit ist ein Vorgehensmodell mit sechs Phasen, das in Bild 3-3 dargestellt ist [Wil20, S. 100], [WFH+18, S. 1446]. Die Phasen werden nachfolgend beschrieben.

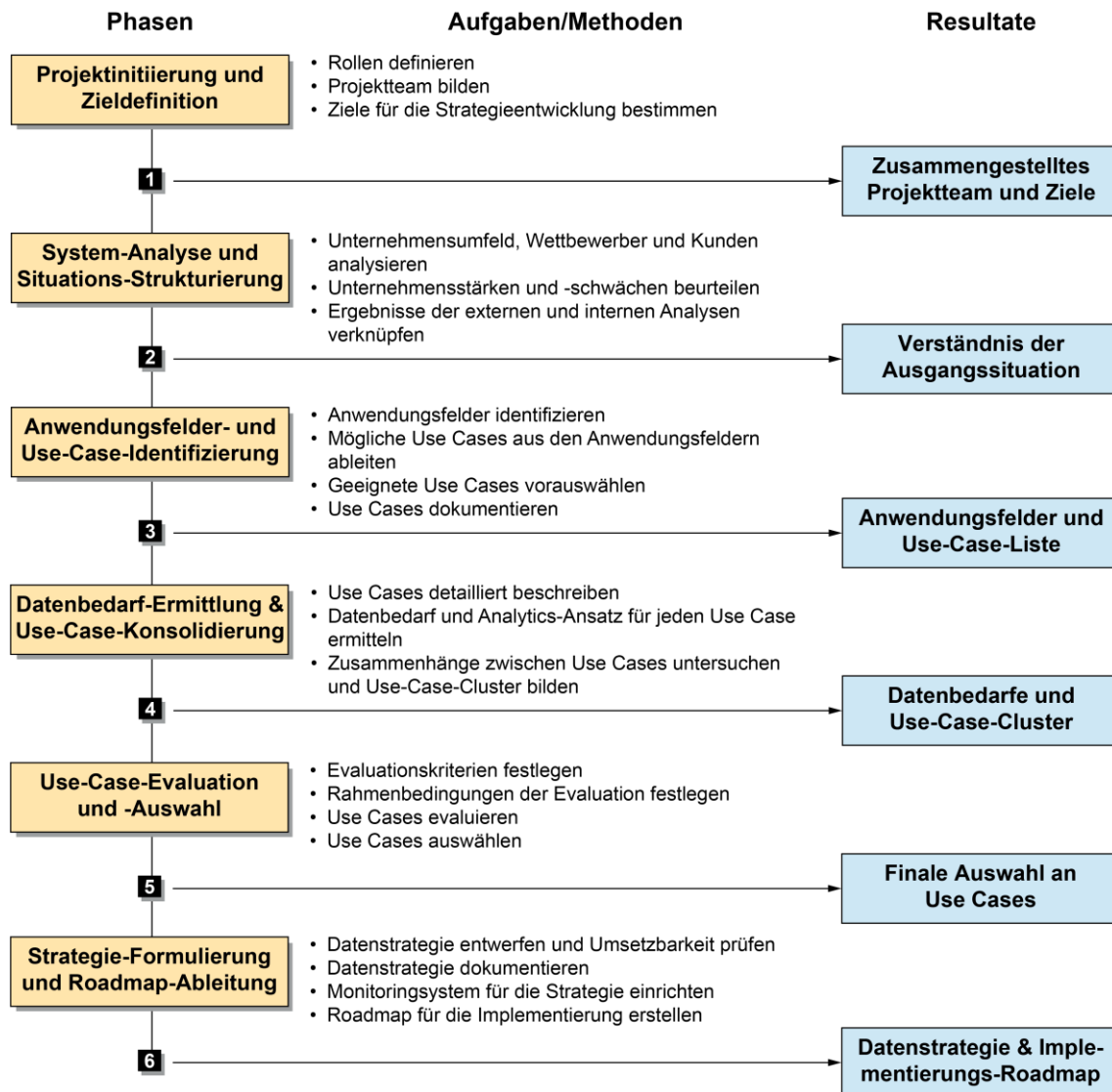


Bild 3-3: Vorgehensmodell zur Entwicklung einer Betriebsdaten-Strategie in Anlehnung an WILBERG [Wil20, S. 100]

- (1) **Projektinitiierung und Zieldefinition:** Den Startpunkt der Methode bildet die Definition notwendiger Rollen für die Entwicklung einer Betriebsdaten-Strategie. Passend zu diesen Rollen wird im Anschluss das Projektteam gebildet. Im Anschluss definiert dieses die Ziele für die Strategieentwicklung [Wil20, S. 102ff.].
- (2) **Systemanalyse und Situationsstrukturierung:** In dieser Phase wird die Ausgangssituation umfassend analysiert. In einer externen Analyse werden das Unternehmensumfeld, Wettbewerber und Kunden mit bekannten Methoden wie der PESTEL-Analyse (siehe z. B. [Kau21]) untersucht. Eine interne Analyse dient darüber hinaus der Beurteilung der Unternehmensstärken und Schwächen. Die Ergebnisse beider Analysen werden im Anschluss miteinander verknüpft, um Implikationen für die Strategieentwicklung abzuleiten [Wil20, S. 108ff.].

- (3) **Anwendungsfelder- und Use-Case-Identifizierung:** Die dritte Phase umfasst die Identifizierung Erfolg versprechender Use Cases. Dafür werden zunächst relevante Anwendungsfelder für Betriebsdaten-Analysen identifiziert. Aus diesen werden anschließend Use Cases abgeleitet. Im Rahmen einer Vorauswahl werden Dopplungen aufgelöst, Abstraktionslevel verglichen, ähnliche Use Cases geclustert und nicht-realisierte Use Cases entfernt. Die verbleibenden Use Cases werden abschließend dokumentiert [Wil20, S. 122ff.].
- (4) **Datenbedarf-Ermittlung und Use-Case-Konsolidierung:** In der vierten Phase werden die Use Cases konkretisiert. Dafür wird zunächst jeder Use Case detailliert beschrieben. Aus den Beschreibungen werden dann der Datenbedarf und ein geeigneter Analytics-Ansatz ermittelt. Zum Abschluss werden die Use Cases auf Zusammenhänge untersucht, z. B. im Hinblick auf ihren Datenbedarf oder ihren Stakeholder-Nutzen. Die identifizierten Zusammenhänge stellen die Grundlage für die Bildung von Use-Case-Clustern dar, in denen stark miteinander verbundene Use Cases gruppiert sind [Wil20, S. 131ff.].
- (5) **Use-Case-Evaluation und -Auswahl:** Gegenstand der vorletzten Phase ist die Evaluation der Use Cases. Als Erstes werden die Evaluationskriterien festgelegt. WILBERG liefert dafür umfangreiche Vorschläge. Anschließend legt das Projektteam die Rahmenbedingungen der Evaluation fest, z. B. wer die Use Cases bewertet. Für die Evaluation werden mehrere bewährte Methoden wie die Nutzwertanalyse vorgeschlagen. Auf Basis der Evaluationsergebnisse wird die finale Auswahl an Use Cases getroffen [Wil20, S. 139ff.].
- (6) **Strategie-Formulierung und Roadmap-Ableitung:** Die letzte Phase dient der Zusammenführung der Ergebnisse in einer konsistenten Strategie. Zunächst gilt es dabei, einen ersten Entwurf der Datenstrategie zu erstellen und dessen Umsetzbarkeit zu prüfen. Anschließend wird die Datenstrategie ausführlich dokumentiert. Um die Zielerreichung der Strategie beurteilen zu können, wird ein Monitoringsystem eingerichtet. Abschließend wird eine Roadmap für die Implementierung der Datenstrategie erstellt. Diese soll beschreiben, wie die Ziele der Datenstrategie erreicht werden sollen [Wil20, S. 149ff.].

Im Anschluss an die letzte Phase soll außerdem überprüft werden, ob die initial definierten Ziele erreicht worden sind.

Neben dem Vorgehen stellt WILBERG einen Use-Case-Katalog mit mehr als 200 Use Cases sowie eine prototypische Software-Lösung zur Betrachtung der Use Cases bereit [Wil20, S. 129f.], [WLN+18, S. 1458ff.]. Der vorgestellte Ansatz wurde mit mehreren produzierenden Unternehmen evaluiert [Wil20, S. 160ff.], [WKF+18, S. 4ff.].

Bewertung: Die Methode zur Entwicklung einer Betriebsdaten-Strategie nach WILBERG liefert zahlreiche wertvolle Impulse zur Planung von Betriebsdaten-Analysen in der strategischen Produktplanung. Aus der Analyse wird jedoch deutlich, dass die Methode einerseits einen deutlich breiteren Fokus als die strategische Produktplanung hat, andererseits auch nicht Visions- oder Strategie-getrieben agiert. Die Analyse der Stärken und

Schwächen ist grundsätzlich sehr umfassend. Gerade hinsichtlich der DA-Aspekte ist sie jedoch nicht ausführlich genug, um die Realisierung der Use Cases detailliert beurteilen zu können. Innerhalb der Use Cases werden zudem keine zu beantwortenden Fragen aufgestellt. Auch das bereitgestellte Gestaltungswissen in Form der Use Cases beinhaltet keine Informationen über exemplarische Fragen.

3.1.4 Entwicklung von KI-Use-Cases nach HOFMANN ET AL.

HOFMANN ET AL. stellen eine Methode zur Entwicklung von KI-Use-Cases vor [HJP+20]. Diese basiert auf 14 semi-strukturierten Interviews mit Experten aus zahlreichen unterschiedlichen Branchen, z. B. Beratung, Logistik und Softwareentwicklung [HJP+20, S. 37]. Die Methode umfasst fünf Phasen und wird im Folgenden beschrieben. Das Vorgehensmodell ist in Bild 3-4 dargestellt [HJP+20, S. 38].

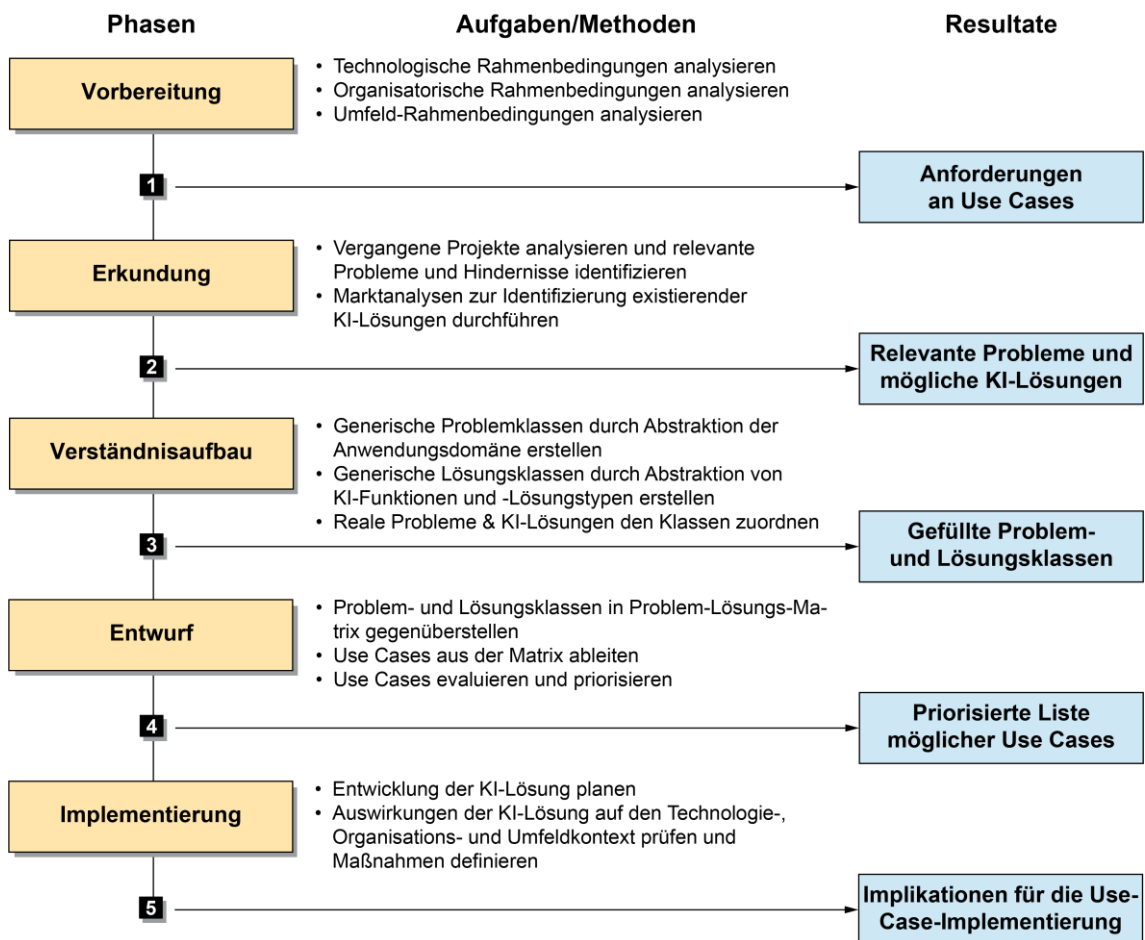


Bild 3-4: Vorgehensmodell zur Entwicklung von KI-Use-Cases in Anlehnung an HOFMANN ET AL. [HJP+20, S. 38]

- (1) **Vorbereitung:** In der ersten Phase finden vorbereitende Analysen statt. Strukturiert werden diese anhand der drei Dimensionen Technologie, Organisation und Umfeld des sog. TOE-Frameworks (nach den Anfangsbuchstaben der englischen Begriffen Technology, Organization, Environment). Aus den Analysen werden

Anforderungen an die Use Cases abgeleitet. Diese betreffen z. B. organisatorische Ressourcen oder Kundenpräferenzen [HJP+20, S. 38f.].

- (2) **Erkundung:** Die zweite Phase beleuchtet den Problem- und den Lösungsraum für KI-Use-Cases. Zur Identifizierung relevanter Probleme und Hindernisse werden vergangene Projekte analysiert. Neue Möglichkeiten, die sich durch KI ergeben, werden mit Marktanalysen adressiert. Dabei werden insbesondere existierende KI-Lösungen gesucht [HJP+20, S. 39f.]. Resultat dieser Phase sind relevante Probleme und mögliche KI-Lösungen.
- (3) **Verständnisaufbau:** In der dritten Phase wird ein tieferes Problem- und Lösungsverständnis aufgebaut. Dies geschieht durch die Abstraktion der identifizierten Probleme und Lösungen. Generische Problemklassen werden durch die Abstraktion der Anwendungsdomäne hergeleitet, z. B. in Form von Kompetenzen oder Prozessphasen. Generische Lösungsklassen entstehen durch die Abstraktion von KI-Funktionen und -Lösungsklassen. HOFMANN ET AL. stellen Vorschläge für diese Klassen bereit, die auf bestehenden Klassifizierungen aufbauen. Sind die generischen Klassen definiert, werden ihnen die realen Probleme und KI-Lösungen zugeordnet [HJP+20, S. 40f.].
- (4) **Entwurf:** Die vierte Phase dient dem Use-Case-Entwurf. Dafür werden die generischen Problem- und Lösungsklassen zunächst in einer sog. Problem-Lösungs-Matrix gegenübergestellt. Anschließend werden die Felder der Matrix untersucht, in denen sich Problem- und Lösungsklassen schneiden. Wenn in einem Feld ein reales Problem und eine existierende KI-Lösung aufeinandertreffen, wird der Problem-Lösungs-Fit geprüft und – falls gegeben – ein Use Case abgeleitet. Wenn ein Feld nur ein reales Problem beinhaltet, wird nach weiteren KI-Lösungen recherchiert. Beinhaltet ein Feld hingegen nur eine KI-Lösung, werden bisher unerkannte Probleme oder neue Potentiale gesucht. Sobald alle Felder der Matrix untersucht sind, werden die abgeleiteten Use Cases evaluiert und entsprechend ihrer Bewertung priorisiert [HJP+20, S. 41ff.].
- (5) **Implementierung:** Gegenstand der fünften und letzten Phase ist die Implementierung des KI-Use-Cases. Diese beginnt damit, dass die Entwicklung der KI-Lösung geplant wird. Das Unternehmen muss dabei entscheiden, ob es die KI-Lösung selbst entwickeln, die Entwicklung fremdvergeben oder eine bestehende Lösung von einem externen Anbieter einkaufen will. Außerdem werden die Auswirkungen der implementierten KI-Lösungen in den drei Dimensionen Technologie, Organisation und Umfeld geprüft. Dabei helfen die Ergebnisse der ersten Phase. In Abhängigkeit der Ergebnisse dieser Prüfung werden geeignete Maßnahmen abgeleitet, um die Implementierung der KI-Lösung zu unterstützen [HJP+20, S. 41f.].

Bewertung: Die Methode von HOFMANN ET AL. stellt mit ihrem Ansatz der generischen Problem- und Lösungsklassen einen interessanten Ansatz zur Planung von Betriebsdaten-Analysen dar. Dabei fällt jedoch auf, dass durch die Fokussierung auf Probleme vergangener Projekte strategisch relevante Aspekte ausgeblendet werden. Der Definition der

Use Cases mangelt es an Konkretisierung. Darüber hinaus ist das TOE-Framework zu generisch, um ein dediziertes Stärken-Schwächen-Profil hinsichtlich der Betriebsdaten-gestützten Produktplanung zu generieren. Gestaltungswissen wird nicht bereitgestellt.

3.1.5 Bestimmung der Nutzenpotentiale von Felddaten cyber-physischer Systeme nach KREUTZER

KREUTZER präsentiert eine Methodik zur Bestimmung der Nutzenpotentiale von Felddaten¹⁵ cyber-physischer Systeme [Kre19]. Sie ist in vier Teile untergliedert: (1) die Strukturierung des technologischen Nutzens cyber-physischer Systeme, (2) die Charakterisierung von Felddaten cyber-physischer Systeme, (3) die Untersuchung des Felddatenbedarfs von Nutzenaspekten und (4) die Bestimmung der Nutzenpotentiale von Felddaten cyber-physischer Systeme [Kre19, S. 86]. Die Bestandteile werden nachfolgend erläutert.

(1) Strukturierung des technologischen Nutzens cyber-physischer Systeme:

KREUTZER leitet zunächst relevante Stakeholder ab, die Nutzen aus Felddaten ziehen könnten. Diese werden den Lebenszyklus-Phasen von CPS gegenübergestellt, um den Nutzen von CPS zu typologisieren. Innerhalb der so erarbeiteten Nutzen-Typen identifiziert KREUTZER anschließend durch eine Literaturanalyse die Bedürfnisse und Ziele der jeweiligen Stakeholder. Diese stellt er den technologischen Fähigkeiten von CPS gegenüber und leitet daraus insgesamt 24 Nutzenaspekte von CPS ab. Davon liegen acht in der Entwicklungs- und 16 in der Servicephase der CPS [Kre19, S. 94ff.].

(2) Charakterisierung von Felddaten cyber-physischer Systeme:

In diesem Teil erarbeitet KREUTZER ein hierarchisches Beschreibungsmodell für Felddaten von CPS. Dieses verfügt insgesamt über vier Gliederungsebenen. Auf oberster Ebene unterscheidet er zwischen technischen Messgrößen, Nutzerdaten und Systemdaten. Das Modell ist in Bild 3-5 abgebildet [Kre19, S. 152ff.].

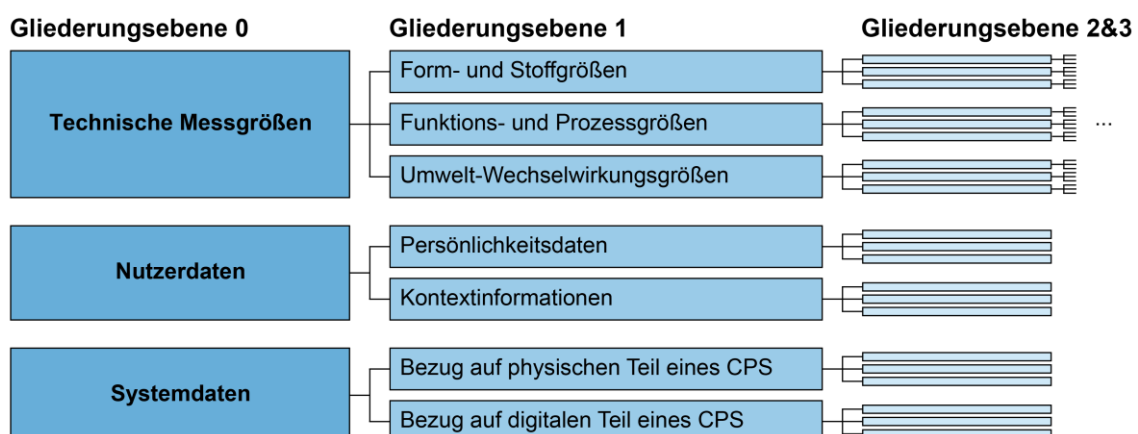


Bild 3-5: Beschreibungsmodell für Felddaten nach KREUTZER [Kre19, S. 164]

¹⁵ Zur Begriffsabgrenzung siehe Abschnitt 2.1.4

- (3) **Untersuchung des Felddatenbedarfs von Nutzenaspekten:** KREUTZER stellt 21 Use Cases vor, die aus einer Recherche der wissenschaftlichen und der grauen Literatur stammen. Zehn davon entstammen dem Themenfeld *Smart Mobility*, fünf *Smart Home & Buildings*, vier *Smart Servicing* und zwei *Smart Production*. Die Use Cases ordnet er den Typen und Nutzenaspekten aus (1) zu. Dabei kann ein Nutzenaspekt von mehreren Use Cases erschlossen werden. Abschließend untersucht KREUTZER, welche Felddaten des Beschreibungsmodells aus (2) zur Umsetzung der jeweiligen Use Cases und zur Erschließung der Nutzenaspekte notwendig sind [Kre19, S. 165ff.].
- (4) **Bestimmung der Nutzenpotentiale von Felddaten cyber-physischer Systeme:** Im vierten und letzten Teil erarbeitet KREUTZER ein Vorgehensmodell zur Bestimmung der Nutzenpotentiale von Felddaten von CPS. Dafür konzipiert er zunächst drei Vorgehensalternativen – (1) Market Pull-Ansatz, (2) Technology Push-Ansatz und (3) integrativer Ansatz – und wählt selbst den integrativen Ansatz aus. Im Anschluss erarbeitet er jeweils fünf Bewertungskriterien, mit denen Anwender im Rahmen des Vorgehensmodells Nutzenaspekte bzw. Felddatensätze bewerten können. Im letzten Schritt stellt KREUTZER die eigentliche Ausarbeitung des Vorgehensmodells dar. Das Vorgehensmodell zeigt die methodischen Schritte und gibt an, wie die zuvor erarbeiteten Bestandteile zusammenwirken sollen. Das resultierende Vorgehensmodell ist in Bild 3-6 abgebildet [Kre19, S. 181ff.].

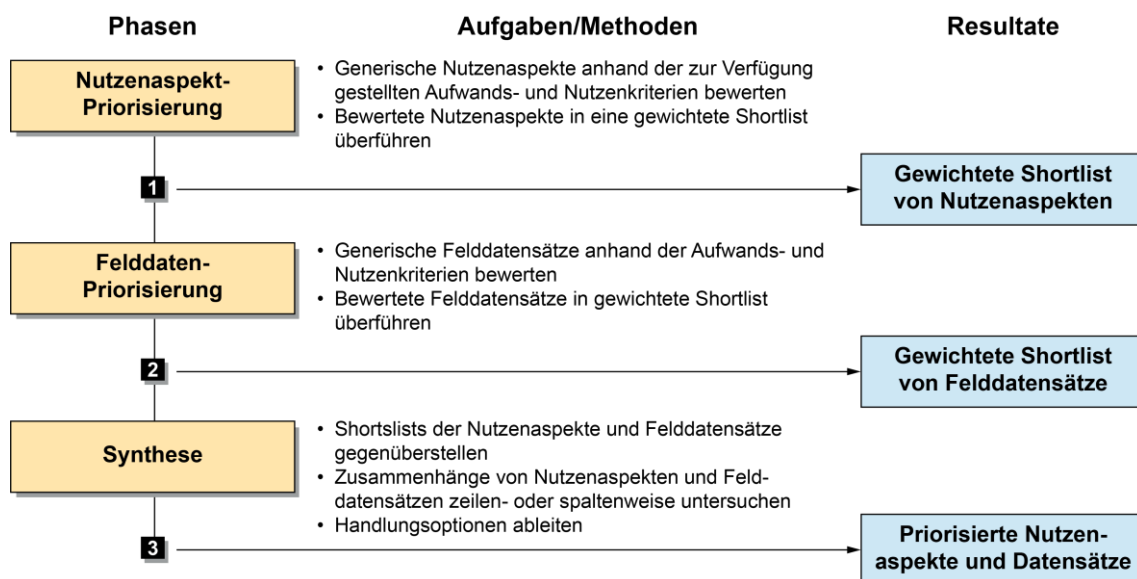


Bild 3-6: Vorgehensmodell zur Bestimmung der Nutzenpotentiale cyber-physischer Systeme in Anlehnung an KREUTZER [Kre19, S. 196]

Bewertung: KREUTZERS Ansatz zur Bestimmung der Nutzenpotentiale von Felddaten cyber-physischer Systeme adressiert die Planung von Betriebsdaten-Analysen in der strategischen Produktplanung. Interessant ist dabei die Nutzen-getriebene Ermittlung von Untersuchungsbedarfen, auch wenn KREUTZER diese nicht aus einer Produktvision oder -strategie ableitet. Die gewählte Art der Zusammenführung von Nutzenaspekten und

Felddaten ist zwar in sich schlüssig, verhindert aber ebenfalls die Verfolgung strategisch relevanter Use Cases, für die noch einzelne Daten beschafft werden müssten. Schließlich stellt das Beschreibungsmodell für Felddaten relevantes Gestaltungswissen dar, dessen Adaption zu prüfen ist.

3.1.6 Kontextbezogene Bereitstellung von Produktnutzungs-Informationen in der Produktentwicklung nach DENG und THOBEN

DENG und THOBEN stellen eine Methode zur kontextbezogenen Bereitstellung von Produktnutzungs-Informationen (PNI) in der Produktentwicklung vor [DT22]. Die Methode soll Produktentwicklern dabei helfen, ihre Informationsbedarfe zu identifizieren und relevante PNI zu deren Auslösung vorzubereiten [DT22, S. 25]. Die Methode umfasst sechs Phasen, die nachfolgend vorgestellt werden. Das Vorgehensmodell ist in Bild 3-7 dargestellt.

- (1) **Definition des Kontexts der PNI-Nutzung:** Zu Beginn wird ein Kontextmodell erstellt, in dem die betrachteten Aktivitäten der Produktentwicklung, die vorhandenen PNI und das Personal modelliert werden. Die drei Kategorien werden Unternehmens- und Anwendungsfall-spezifisch ausgestaltet [DT22, S. 8f.].
- (2) **Erfassung des Informationsbedarfs:** In der zweiten Phase wird der konkrete Informationsbedarf erfasst. Dafür werden die erforderlichen Inhalte der Informationsbedarfe ausgehend vom Kontext der PNI-Nutzung schrittweise spezifiziert, bis konkrete PNI-Variablen resultieren. Anschließend werden deren erforderliche Charakteristika bestimmt [DT22, S. 9f.].
- (3) **Identifikation relevanter PNI:** Gegenstand der dritten Phase ist der Soll-Ist-Abgleich. Dafür werden die erforderlichen und die vorhandenen PNI gegenübergestellt. Durch den Abgleich werden relevante PNI-Quellen sowie PNI identifiziert [DT22, S. 10].
- (4) **Spezifikation der Interpretation und Integration:** Die vierte Phase bereitet die PNI-Integration vor. Zunächst wird Wissen über die kontextabhängige PNI-Interpretation identifiziert. Anschließend werden die Interpretation, Transformation und Integration von PNI aus verschiedenen Quellen geplant [DT22, S. 10f.].
- (5) **Integration relevanter PNI:** In der fünften Phase werden die PNI interpretiert, transformiert und integriert. Dies geschieht mit geeigneten Software-Tools und der Unterstützung durch Data Scientists. Informationen über die verwendeten Tools und Konfigurationen werden für Folgeprojekte festgehalten.
- (6) **Evaluation der PNI-Bereitstellung:** In der letzten Phase werden die integrierten PNI evaluiert. Falls erforderlich, werden Anpassungen in vorherigen Schritten vorgenommen, um die PNI zu verbessern [DT22, S. 11].

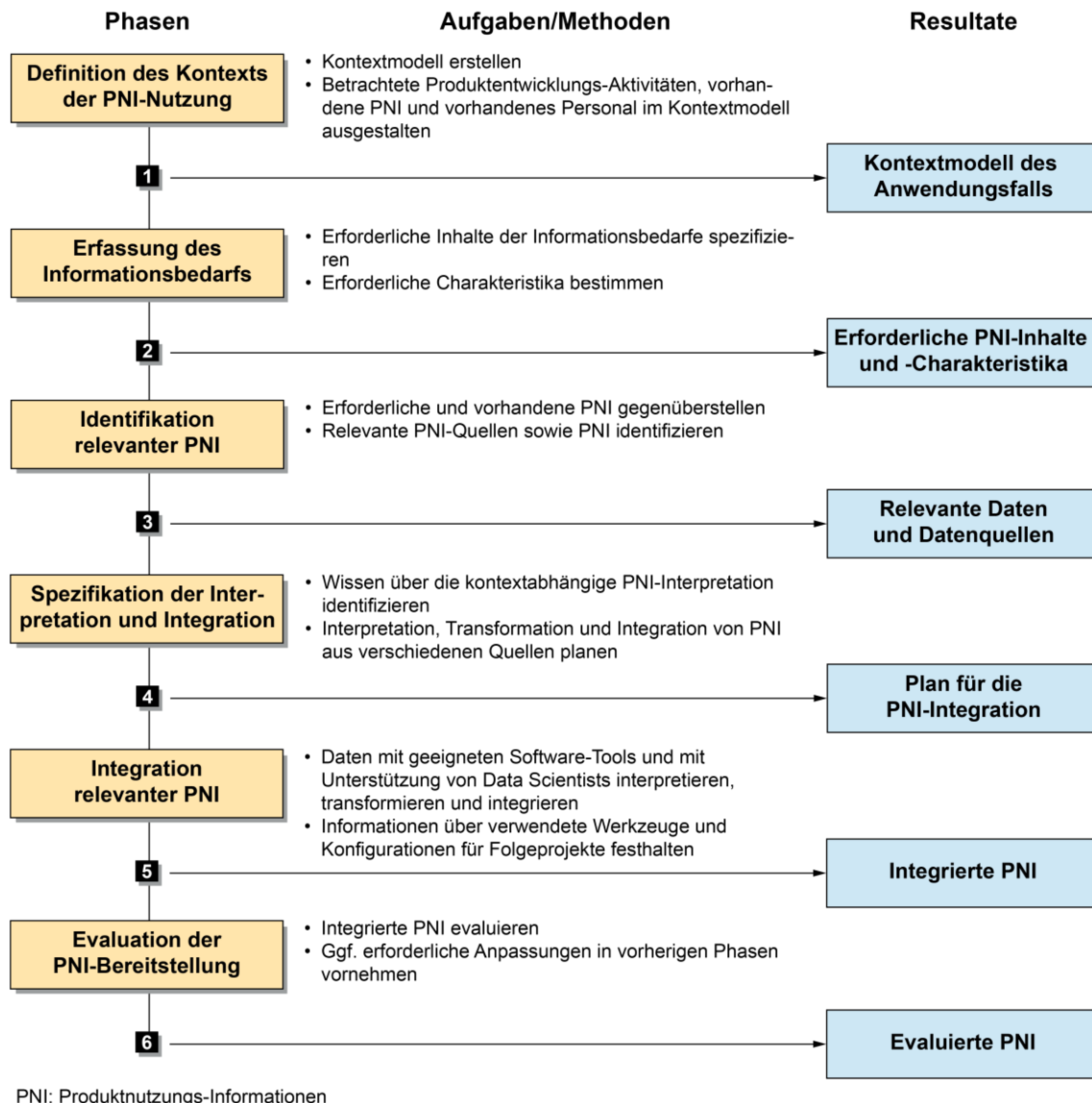


Bild 3-7: Vorgehensmodell zur kontextbezogenen Bereitstellung von Produktnutzungs-Informationen in der Produktentwicklung nach DENG und THOBEN [DT22, S. 7]

Bewertung: Die Methode zur kontextbezogenen Bereitstellung von Produktnutzungs-Informationen in der Produktentwicklung nach DENG und THOBEN adressiert zuvorderst die Analytics-Perspektive und mit geringerem Fokus die Planung von Betriebsdaten-Analysen. Die Ermittlung von Untersuchungsbedarfen orientiert sich dabei an der gegenwärtigen Aufgabe und den zugehörigen Informationsbedarfen von Produktentwicklern. Es fehlt somit die strategische Orientierung. Interessant ist insbesondere die Modellierung des Kontextmodells inklusive der vorhandenen Daten. Dieses Vorgehen gilt es für die Konkretisierung der Use Cases zu prüfen.

3.1.7 Sammlung und Analyse von Betriebsdaten für die kontinuierliche Produktverbesserung nach VOET ET AL.

VOET ET AL. schlagen ein Rahmenwerk für die Sammlung und Analyse von Betriebsdaten für die kontinuierliche Produktverbesserung vor [VAE+19, S. 3ff.]. Dieses soll ein Nutzer-zentriertes Design der betrachteten Produkte unterstützen. Das Rahmenwerk beschreibt fünf Schritte, die in Bild 3-8 dargestellt und im Folgenden vorgestellt werden.

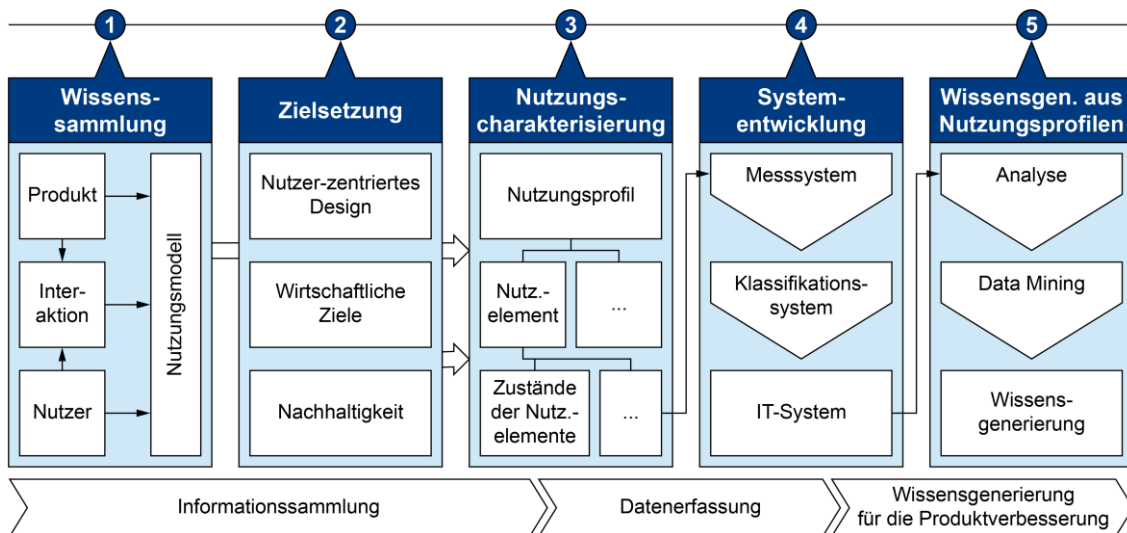


Bild 3-8: Rahmenwerk zur Sammlung und Analyse von Betriebsdaten für die kontinuierliche Produktverbesserung nach VOET ET AL. [VAE+19, S. 4]

- (1) **Wissenssammlung:** Zunächst wird Wissen über das Produkt und die Nutzer gesammelt. Darauf aufbauend werden zukünftige Interaktionen zwischen dem Produkt und dem Nutzer erarbeitet und in einem Nutzungsmodell zusammengefasst [VAE+19, S. 4].
- (2) **Zielsetzung:** Anschließend wird ein Projektziel bestimmt, welches die Richtung für die Betriebsdaten-Sammlung und -Analyse festlegt. Die Autoren schlagen einen Fokus auf die Produkt-Nutzer-Interaktion selbst, wirtschaftliche Ziele oder die Nachhaltigkeit des Produkts vor [VAE+19, S. 4].
- (3) **Nutzungscharakterisierung:** Aufbauend auf dem Nutzungsmodell und den Zielen werden sog. Nutzungsprofile, -elemente und deren Zustände definiert. Nutzungsprofile beschreiben die zu untersuchenden Aktivitäten der Produktnutzung, Nutzungselemente die betrachteten Subsysteme des Produkts. Die Definition möglicher Zustände dient der späteren Datenklassifikation [VAE+19, S. 4f.].
- (4) **Systementwicklung:** Der vierte Schritt umfasst die Entwicklung eines Messsystems, eines Klassifikationssystems sowie eines IT-Systems. Das Messsystem dient der Datensammlung, das Klassifikationssystem der Klassifikation der Daten entlang der Zustände der Nutzungselemente. Mit dem IT-System wird die Datenübertragung vom Sensor zu den Servern des Unternehmens realisiert [VAE+19, S. 5].

- (5) **Wissensgenerierung aus Nutzungsprofilen:** Die erfassten Zustände der Nutzungselemente werden abschließend manuell und mit Data-Mining-Methoden analysiert. Die Analysen liefern Wissen über die Produktnutzung, das zur Verbesserung des Produkts eingesetzt wird [VAE+19, S. 5].

Bewertung: Das Rahmenwerk von VOET ET AL. stellt die Analyse der Interaktion zwischen Produkt und Nutzer in den Vordergrund und zielt auf eine Unterstützung des Nutzer-zentrierten Produktdesigns ab. Es adressiert Aspekte der Planung und der Verwertung von Betriebsdaten-Analysen, bleibt dabei methodisch jedoch oberflächlich. Die Integration von Betriebsdaten-Analysen in die strategische Produktplanung wird nicht berücksichtigt.

3.1.8 Datengetriebene Analyse der Funktionsnutzung zur Reduktion von Produktvarianten nach WAGENMANN ET AL.

WAGENMANN ET AL. beschreiben einen Ansatz zur datengetriebenen Reduktion von Produktvarianten, bei dem die Funktionsnutzung der betrachteten Systeme mit Daten analysiert wird [WKR+22, S. 448f.]. Das vorgeschlagene Prozessmodell besteht aus sieben Phasen und ist in Bild 3-9 abgebildet. Im Folgenden werden die Phasen einzeln beschrieben.

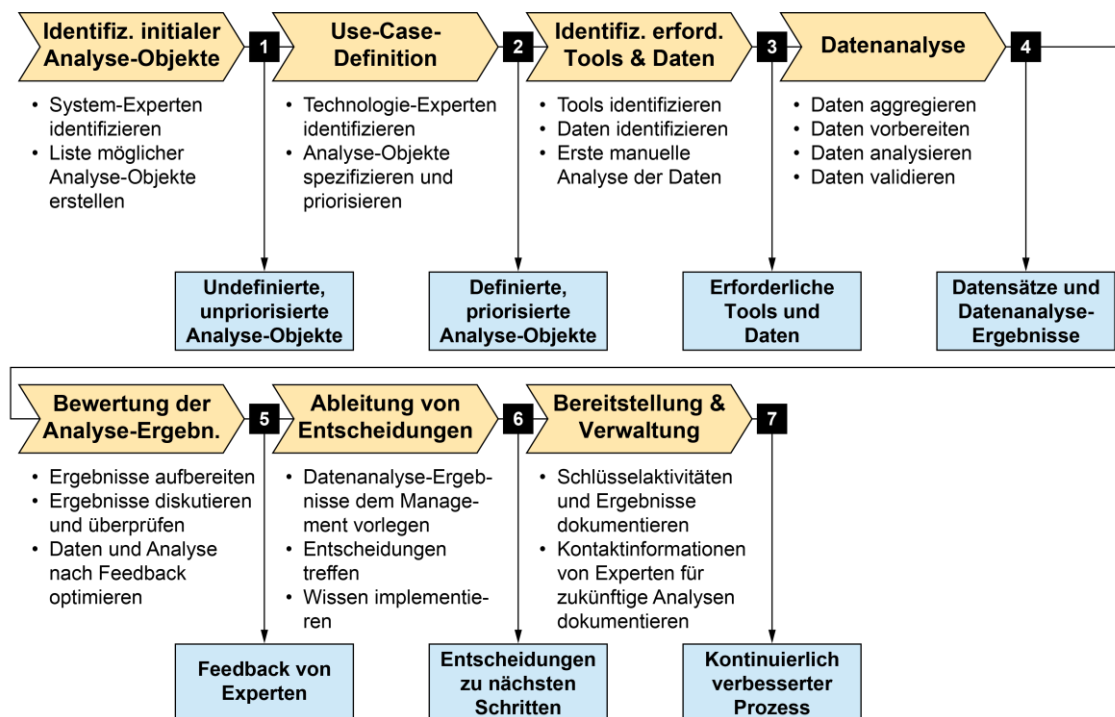


Bild 3-9: Prozessmodell für die datengetriebene Analyse der Funktionsnutzung zur Reduktion von Produktvarianten in Anlehnung an WAGENMANN ET AL. [WKR+22, S. 449]

- (1) **Identifizierung initialer Analyse-Objekte:** In der ersten Phase werden identifizierte System-Experten zu möglichen Analyse-Objekten befragt, die mit Daten zu validieren sind. Diese werden in einer Liste dokumentiert [WKR+22, S. 448].
- (2) **Use-Case-Definition:** Zur Use-Case-Definition werden Technologie-Experten unterschiedlicher Disziplinen identifiziert. Gemeinsam spezifizieren und priorisieren die Experten die Analyse-Objekte [WKR+22, S. 448].
- (3) **Identifizierung erforderlicher Tools und Daten:** Anschließend werden Tools und Daten identifiziert. Manuelle Analysen der Daten zeigen erste Zusammenhänge [WKR+22, S. 448].
- (4) **Datenanalyse:** Darauf aufbauend werden die Daten zu analysierbaren Datensätzen aggregiert, vorbereitet und analysiert. Nach der Analyse werden die Daten und Analyse-Ergebnisse validiert [WKR+22, S. 448].
- (5) **Bewertung der Analyse-Ergebnisse:** Die Ergebnisse werden aufbereitet sowie von System- und Technologie-Experten diskutiert und überprüft. In Folge des Feedbacks werden die Daten und die Analyse optimiert [WKR+22, S. 448f.].
- (6) **Ableitung von Entscheidungen:** Valide Datenanalyse-Ergebnisse werden dem Management für die Entscheidungsfindung vorgelegt. Dieses trifft Entscheidungen, die das gewonnene Wissen implementieren [WKR+22, S. 449].
- (7) **Bereitstellung und Verwaltung:** Abschließend werden Schlüsselaktivitäten und Ergebnisse sowie Kontaktinformationen involvierter Experten für zukünftige Analysen dokumentiert [WKR+22, S. 449].

Bewertung: Das Prozessmodell von WAGENMANN ET AL. beschreibt systematisch, wie Betriebsdaten-Analysen zur Untersuchung der Funktionsnutzung eingesetzt werden können. Die methodische Ausgestaltung der Phasen bleibt dabei jedoch vage. Dies trifft auch insbesondere auf die Verwertung der Datenanalyse-Ergebnisse zur Reduktion von Produktvarianten zu: Die Autoren geben lediglich vor, dass entsprechende Entscheidungen zu treffen sind, aber nicht wie dies zu tun ist. Damit fehlt die konkrete Verknüpfung der Datenanalyse-Ergebnisse mit dem Produktentstehungsprozess.

3.2 Ergänzende Ansätze zum Einsatz von Data Analytics

Die Untersuchung der konkurrierenden Ansätze in Abschnitt 3.1 zeigt, dass kein Ansatz alle Anforderungen aus Abschnitt 2.5 erfüllt. Wie zu Beginn dieses Kapitels angekündigt, werden nach den konkurrierenden Ansätzen in Abschnitt 3.1 dedizierte Ansätze zum Einsatz von Data Analytics und zur Produktgenerationsplanung vorgestellt. Dies dient der Prüfung, ob z. B. eine einfache Kombination eines Data-Analytics-Ansatzes und eines Ansatzes zur Produktgenerationsplanung alle Anforderungen erfüllen würde. Dieser Abschnitt fokussiert sechs ausgewählte Ansätze zum Einsatz von Data Analytics. Weitere sind z. B. in [MMF10] aufgeführt. Die Ansätze zur Produktgenerationsplanung werden in Abschnitt 3.3 vorgestellt.

3.2.1 Cross Industry Standard Process for Data Mining (CRISP-DM) nach CHAPMAN ET AL.

Eines der populärsten Referenzmodelle zur Durchführung von DA-Projekten ist der Cross Industry Standard Process for Data Mining (CRISP-DM) nach CHAPMAN ET AL. [CCK+00], [WH00]. CRISP-DM zeichnet sich durch seine bewusste Branchen-, Werkzeug- und Anwendungsneutralität aus [CCK+00, S. 1]. Das Referenzmodell besitzt sechs Phasen [CCK+00, S. 10ff.], deren Zusammenspiel Bild 3-10 zeigt. Im Anschluss werden die Phasen anhand ihrer Aufgaben beschrieben.

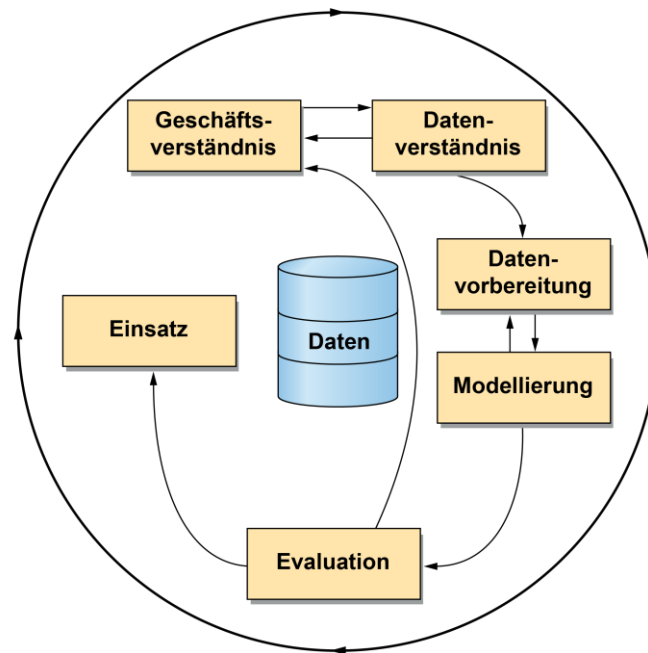


Bild 3-10: Vorgehensmodell des Cross Industry Standard Processes for Data Mining (CRISP-DM) nach CHAPMAN ET AL. [CCK+00, S. 10]

- (1) **Geschäftsverständnis:** In der ersten Phase wird das Verständnis für die Branche und die Anwendung geschaffen. Dafür werden zunächst die Geschäftsziele und Erfolgskriterien bestimmt. Anschließend wird die Ausgangssituation bewertet, indem z. B. Restriktionen und Risiken des Projekts aufgenommen werden. Vor dem Hintergrund dieser Ergebnisse werden die konkreten Ziele und Erfolgskriterien der Datenanalyse bestimmt. Abschließend wird ein Projektplan erstellt [CCK+00, S. 13ff.].
- (2) **Datenverständnis:** Ziel der zweiten Phase ist ein umfassendes Datenverständnis. Dafür werden zu Beginn die Daten gesammelt und beschrieben, die zum Erreichen der Datenanalyse-Ziele erforderlich sind. Danach werden erste explorative Analysen wie Visualisierungen und statistische Analysen durchgeführt, um die Verteilung und Beschaffenheit der Daten und ihrer Attribute zu verstehen. Mit einer Verifikation der Datenqualität endet die Phase [CCK+00, S. 17ff.].
- (3) **Datenvorbereitung:** Gegenstand der Datenvorbereitung sind vorbereitende Aktivitäten für die Daten-Modellierung und -Analyse. Zunächst werden die Daten

selektiert, die analysiert werden sollen. Danach werden diese gesäubert und erforderliche Datenattribute konstruiert. Die folgende Integration der Daten beschreibt eine Kombination verschiedener Datensätze zu einem gemeinsamen Datensatz. Der letzte Schritt ist die Formatierung der Daten. Dabei werden die Daten so formatiert, dass sie vom Modellierungswerkzeug in der nächsten Phase verarbeitet werden können [CCK+00, S. 20ff.].

- (4) **Modellierung:** In der Modellierung wird die eigentliche Datenanalyse durchgeführt. Der erste Schritt ist dabei die Auswahl einer geeigneten Modellierungstechnik. Darauf wird ein Test-Design generiert, mit dem die Qualität und Validität des zu entwickelnden Datenmodells getestet werden kann. Dabei werden z. B. Trainings- und Test-Datensätze generiert, mit denen das Modell zum einen angelernt und zum anderen getestet werden soll. Anschließend wird das Datenmodell erstellt. Das Modell wird abschließend vom Analytics-Experten hinsichtlich seiner Leistung bewertet. Wurden zuvor mehrere alternative Modelle erstellt, werden die Modelle in eine Rangfolge sortiert [CCK+00, S. 23ff.].
- (5) **Evaluation:** Bevor das erstellte Modell implementiert werden kann, wird es im fünften Schritt aus der Geschäftsperspektive evaluiert. Zuerst wird dabei geprüft, ob das Modell die in der ersten Phase definierten Geschäftsziele und Erfolgskriterien erfüllt. Im Anschluss wird das gesamte Vorgehen zur Erstellung des Modells kritisch analysiert, um Aussagen über die Verlässlichkeit des Modells treffen zu können und etwaige Fehler auszuschließen. Abschließend werden die nächsten Schritte des Projekts bestimmt [CCK+00, S. 26f.].
- (6) **Einsatz:** In der letzten Phase steht der Einsatz des Modells im Mittelpunkt. Dabei werden der Einsatz, dessen Überwachung sowie die Wartung des Modells geplant. Daraufhin wird der Abschlussbericht über das DA-Projekt erstellt. Zuletzt wird das gesamte DA-Projekt in einem Rückblick hinsichtlich Stärken, Schwächen und Verbesserungspotentialen untersucht [CCK+00, S. 28f.].

Bewertung: Das Referenzmodell CRISP-DM stellt ausführlich dar, wie DA-Projekte ablaufen sollen und liefert damit wertvolle Impulse für die vorliegende Arbeit. Dabei stehen jedoch die Aufgaben des Analytics-Experten klar im Vordergrund. Die Planung und Verwertung von Betriebsdaten-Analysen durch Geschäfts- und Produktexperten werden nur am Rande behandelt. Außerdem kann das Referenzmodell auch nicht ohne Weiteres im Rahmen der strategischen Produktplanung eingesetzt werden, da es vorrangig auf kontinuierlich betriebene Modelle abzielt, nicht auf Modelle für die Wissensgenerierung und die Produktverbesserung.

3.2.2 Knowledge Discovery in Databases (KDD) Process nach FAYYAD ET AL.

Ein weiterer populärer Referenzprozess für die Wissensgenerierung aus großen Datenmengen stammt von FAYYAD ET AL.: der *Knowledge Discovery in Databases Process*,

der auch als *KDD-Prozess* bekannt ist [FPS96b], [FPS96a]. Dieser Prozess soll Anwendern dabei helfen, vorhandene Daten sukzessive in Wissen zu transformieren. Die vorgesehene Transformation der Daten zeigt Bild 3-11.

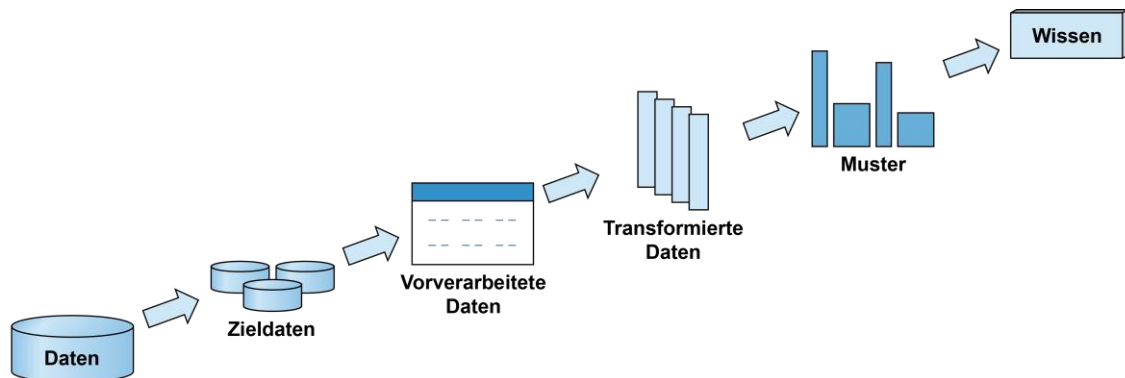


Bild 3-11: Transformation von Daten zu Wissen nach FAYYAD ET AL. [FPS96b, S. 29], [FPS96a, S. 41]

Um diese Transformation von Daten zu Wissen zu realisieren, beschreiben FAYYAD ET AL. ein Vorgehen mit neun Schritten, das nachfolgend beschrieben wird [FPS96b, S. 30f.], [FPS96a, S. 42].

- (1) **Anwendungsdomäne kennenlernen:** In der ersten Phase geht es um das Kennenlernen der Anwendungsdomäne. Hier werden erforderliches Vorwissen akquiriert und die Ziele aus Anwendungs- bzw. Kundensicht identifiziert [FPS96b, S. 30], [FPS96a, S. 42].
- (2) **Ziel-Datensatz kreieren:** Auf Basis der gesammelten Informationen wird im zweiten Schritt der Zieldatensatz kreiert. Dafür wird ein geeigneter Datensatz entweder vollständig oder teilweise ausgewählt [FPS96b, S. 30], [FPS96a, S. 42].
- (3) **Daten reinigen und vorverarbeiten:** Gegenstand des dritten Schritts ist die Daten-Reinigung und -Vorverarbeitung. Zeigt sich ein Rauschen in den Daten, wird dieses entfernt. Das Gleiche gilt für eventuelle Ausreißer. Außerdem werden Strategien zum Umgang mit fehlenden Datenfeldern sowie zur Berücksichtigung von Zeitsequenz-Informationen und bekannten Änderungen entwickelt [FPS96b, S. 30], [FPS96a, S. 42].
- (4) **Daten reduzieren und projizieren:** Der vierte Schritt dient der Verdichtung der Daten. Dafür werden zunächst relevante Datenmerkmale identifiziert. Anschließend wird die Anzahl der zu berücksichtigenden Variablen mit Methoden der Dimensionsreduktion oder Daten-Transformation reduziert und auf geringere Dimensionen projiziert [FPS96b, S. 30], [FPS96a, S. 42].
- (5) **Data-Mining-Funktion auswählen:** Im fünften Schritt wird die erforderliche Data-Mining-Funktion ausgewählt, um die Ziele des Prozesses zu erreichen. Als Beispiele für Data Mining-Funktionen nennen FAYYAD ET AL. Zusammenfassung, Klassifikation, Regression und Clusterung [FPS96b, S. 30f.], [FPS96a, S. 42].

- (6) **Data-Mining-Algorithmus auswählen:** Der sechste Schritt umfasst die Auswahl eines geeigneten Data-Mining-Algorithmus. Dabei werden geeignete Modelle und Parameter festgelegt. Außerdem wird sichergestellt, dass der Algorithmus die Anforderungen der Nutzer und Kunden an den KDD-Prozess erfüllt [FPS96b, S. 31], [FPS96a, S. 42].
- (7) **Data Mining:** Im siebten Schritt werden die Daten nach relevanten Mustern durchsucht. Die Ergebnisse werden in einer oder mehreren geeigneten Formen visualisiert [FPS96b, S. 31], [FPS96a, S. 42].
- (8) **Interpretation:** Ziel des achten Schritts ist neues Wissen. Dafür werden die im vorherigen Schritt identifizierten Muster interpretiert und in eine Sprache übersetzt, die die Nutzer und Kunden verstehen. Redundante oder überflüssige Muster werden entfernt. Falls erforderlich, wird zu früheren Schritten des Prozesses zurückgesprungen [FPS96b, S. 31], [FPS96a, S. 42].
- (9) **Entdecktes Wissen nutzen:** Der finale Schritt behandelt die Nutzung des entdeckten Wissens. Dabei wird untersucht, wie es in bestehende Organisationsprozesse einfließen kann und welche Maßnahmen sich daraus ableiten. Außerdem wird eine Dokumentation erstellt. Mögliche Konflikte des neuen mit früherem Wissen werden aufgelöst [FPS96b, S. 31], [FPS96a, S. 42].

Bewertung: Ähnlich wie CRISP-DM beschreibt der KDD-Prozess den Ablauf von DA-Projekten. Auch hier werden die Aufgaben des Analytics-Experten deutlich umfangreicher beleuchtet als die der Domänenexperten. Deren Aufgaben werden nur kurz in den Schritten (1), (8) und (9) angesprochen. Der KDD-Prozess nennt darüber hinaus keine Methoden, Werkzeuge und Hilfsmittel, um die vorgeschlagenen Schritte zu durchlaufen. Damit liefert er vor allem Impulse für die Gestaltung eines Referenzprozesses für die Betriebsdaten-gestützte Produktplanung, mit einem Schwerpunkt auf den Aufgaben des Data Scientists.

3.2.3 VDI/VDE 3714 Blatt 1: Durchführung von Big-Data-Projekten

Mit Blatt 1 der Richtlinienreihe VDI/VDE 3714 *Implementierung und Betrieb von Big-Data-Anwendungen in der produzierenden Industrie* stellt der Verein Deutscher Ingenieure eine Richtlinie zur Durchführung von Big-Data-Projekten in der produzierenden Industrie vor. Die Richtlinie beschreibt ein siebenphasiges Vorgehen, das nachfolgend beschrieben wird. Bild 3-12 visualisiert die Phasen, Aufgaben und Resultate in einem Prozessmodell.

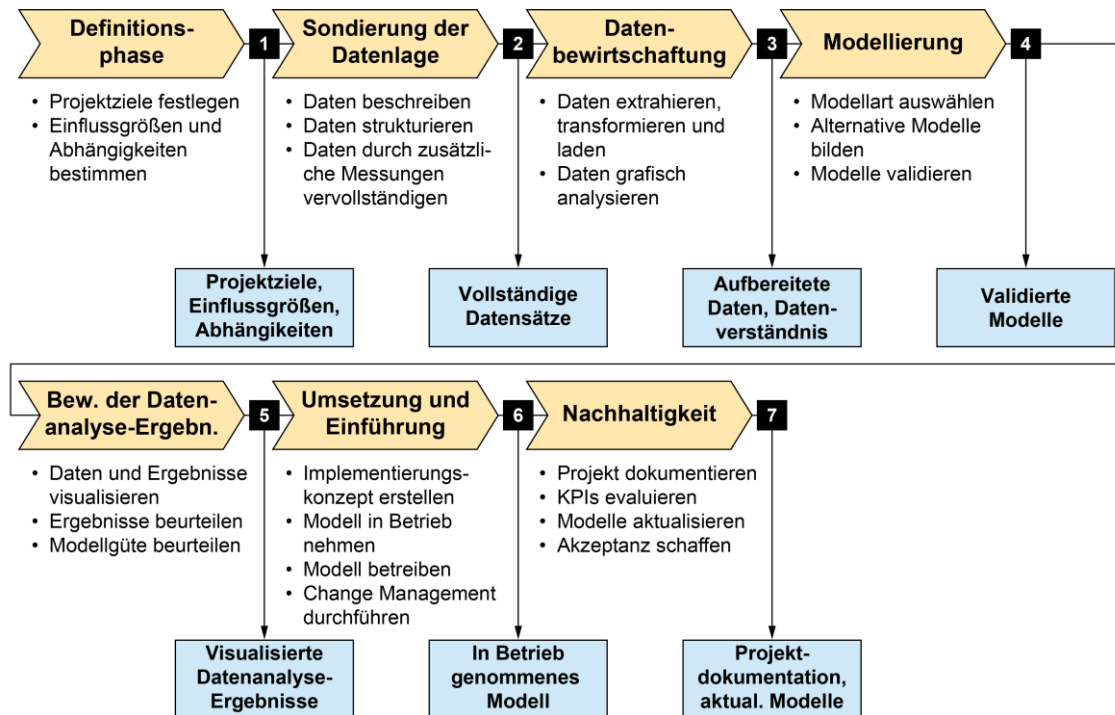


Bild 3-12: Prozessmodell zur Implementierung und zum Betrieb von Big-Data-Anwendung in der produzierenden Industrie in Anlehnung an [VDI/E3714, S. 14ff.]

- (1) **Definitionsphase:** In der Definitionsphase wird das Big-Data-Projekt von Anwendungsseite aus definiert. Dafür werden zunächst die technischen und ökonomischen Projektziele festgelegt, z. B. Leistungskennzahlen zur Messung der Profitabilität. In Abhängigkeit der Ziele werden anschließend mögliche Einflussgrößen auf die Ziele sowie vermutete Abhängigkeiten bestimmt [VDI/E3714, S. 14ff.].
- (2) **Sondierung der Datenlage:** In der zweiten Phase erfolgt die Sondierung der Datenlage. Dafür werden zunächst die verfügbaren Datenquellen und die damit verbundenen Daten vollständig beschrieben. Die Richtlinie zeigt mögliche Metadaten auf, mit denen diese Beschreibung durchgeführt werden kann. Anschließend werden die Daten strukturiert, z. B. nach ihrer Zugehörigkeit zu den jeweiligen Schritten des Produktionsprozesses. Abschließend wird die Datenbasis vervollständigt, indem fehlende Daten durch zusätzliche Messungen erhoben werden [VDI/E3714, S. 17ff.].
- (3) **Datenbewirtschaftung:** Die dritte Phase dient der Vorbereitung der Modellierung. Damit die Daten überhaupt analysiert werden können, werden sog. ETL-Prozesse durchlaufen. ETL fasst dabei die drei Prozesse *Extraktion*, *Transformation* und *Laden* zusammen. Die Extraktion beschreibt die Zusammenführung von Daten unterschiedlicher Quellen. Mit der Transformation wird die Überführung der Daten in das Zielformat bezeichnet. Im Ladeprozess werden die Daten in einen Datenspeicher überführt, der für die Modellierung geeignet ist. Liegen die

Daten dort bereit, werden erste grafische Analysen durchgeführt, um ein Datenverständnis aufzubauen [VDI/E3714, S. 21ff.].

- (4) **Modellierung:** Im Fokus der vierten Phase steht die Modellierung¹⁶. Zuerst wird die Modellart ausgewählt. Hier werden Whitebox-, Greybox- und Blackbox-Modelle unterschieden. Im Anschluss folgt die Erstellung alternativer Modelle. Dabei können auch verschiedene Modellarten kombiniert werden. Im Anschluss an die Modellierung findet die Validierung der Modelle statt. Diese unterscheidet sich je nach Modellart. Hinweise für die jeweilige Validierung sind der Richtlinie zu entnehmen [VDI/E3714, S. 25ff.].
- (5) **Bewertung der Datenanalyse-Ergebnisse:** In der fünften Phase werden die Datenanalyse-Ergebnisse bewertet. Zur Unterstützung der Bewertung werden zielgruppengerechte Visualisierungen der Datenanalyse-Ergebnisse erstellt. Anschließend findet die Ergebnisbeurteilung mit Produkt- und Prozessexperten statt. Diese nutzen ihr Domänenwissen zur Verifikation der gefundenen Kausalitäten. Gleichzeitig wird auch die Modellgüte beurteilt. Diese hängt ähnlich wie die Visualisierungen von der weiteren Verwendung des Modells ab [VDI/E3714, S. 31ff.].
- (6) **Umsetzung und Einführung:** Nach der Bewertung der Datenanalyse-Ergebnisse folgt in der sechsten Phase die Umsetzung und Einführung der Big-Data-Anwendung. Zuerst wird ein Implementierungskonzept bestimmt. Darin muss festgelegt werden, welche Ausbaustufen der Implementierung wann umgesetzt werden sollen. Steht das Konzept, werden die Ausbaustufen nacheinander in Betrieb genommen. Der Betrieb des Modells wird z. B. durch Nutzerschulungen sowie ein regelmäßiges Monitoring begleitet. Außerdem ist ein zielgerichtetes Change Management durchzuführen [VDI/E3714, S. 35ff.].
- (7) **Nachhaltigkeit:** In der abschließenden Phase wird der erzielte Projekterfolg nachhaltig sichergestellt. Dies geschieht zuvorderst durch eine umfassende Dokumentation des Projekts und seiner Ergebnisse. Außerdem werden die zu Projektbeginn festgelegten Leistungskennzahlen fortwährend evaluiert. In Folge von Wartungsarbeiten, Modernisierungen und technischen Neuerungen des betrachteten Produkts wird das erstellte Modell aktualisiert. Zur Sicherung der Akzeptanz werden außerdem Maßnahmen ergriffen, mit denen den Mitarbeitern der Nutzen und die Sinnhaftigkeit der Big-Data-Anwendung kommuniziert wird [VDI/E3714, S. 39ff.].

Bewertung: Die VDI/VDE-Richtlinie 3714 stellt im Gegensatz zu populären Referenzprozessen wie CRISP-DM und KDD die Analyse von großen Datenmengen in produzierenden Unternehmen in den Fokus. Für den Ablauf von DA-Projekten in produzierenden Unternehmen liefert Blatt 1 der Richtlinie dabei wertvolle Impulse, auch wenn wie bei

¹⁶ Unter einem Modell versteht die Richtlinie „eine vereinfachende, auf ein bestimmtes Ziel ausgerichtete Darstellung der Merkmale, der Funktion oder des Verhaltens eines Betrachtungsgegenstands“ [VDI/E3714, S. 25].

anderen Referenzprozessen die Aufgaben des Analytics-Experten dominieren. Entsprechend zeigt die Richtlinie auch keine Methoden zur Planung und Verwertung von Betriebsdaten-Analysen auf, sondern gibt nur vereinzelte Hinweise auf zu berücksichtigende Aspekte. Der wesentliche Mehrwert liegt daher auf der prozessualen Ebene.

3.2.4 Referenzmodell für wissensgetriebene Datenbereitstellungsprozesse nach WANG ET AL.

WANG ET AL. schlagen ein Referenzmodell für wissensgetriebene Datenbereitstellungsprozesse vor [WPF+20, S. 128ff.]. Es besitzt drei generische Phasen, die in Bild 3-13 dargestellt sind und im Anschluss beschrieben werden.

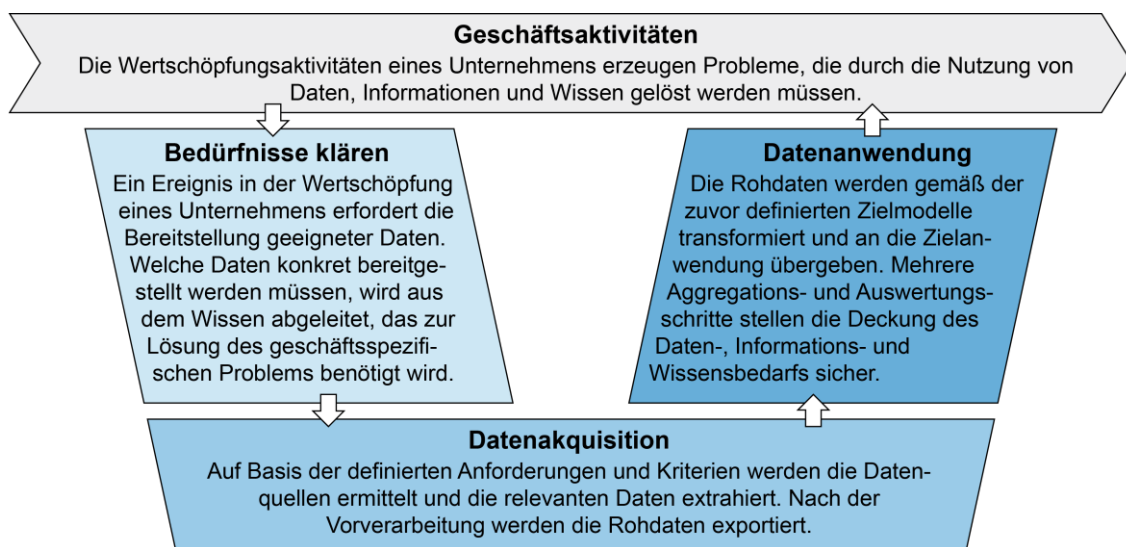


Bild 3-13: Referenzmodell für wissensgetriebene Datenbereitstellungsprozesse nach WANG ET AL. [WPF+20, S. 128]

- (1) **Bedürfnisse klären:** In der ersten Phase werden die Ziele des Datenbereitstellungsprozesses definiert. Auslöser ist ein Ereignis in den Wertschöpfungsaktivitäten des Unternehmens, das durch die Datenbereitstellung adressiert werden soll. Aus dem Wissensbedarf werden die erforderlichen Daten zur Lösung des Problems abgeleitet [WPF+20, S. 128f.].
- (2) **Datenakquisition:** Die zweite Phase dient der Beschaffung der erforderlichen Daten. Dafür werden die Daten in den vorhandenen Systemen identifiziert und lokalisiert. Nach der Extraktion der Daten aus den Systemen werden sie für Vorverarbeitungsschritte zwischengespeichert. Nach der Vorverarbeitung werden die Daten in eine Ziel-Datenbank geladen [WPF+20, S. 129].
- (3) **Datenanwendung:** Abschließend werden die Daten an die Zielanwendung übergeben, z. B. ein Data-Mining-Modell. Mit diesem werden die geplanten Datenanalysen durchgeführt, bis das erforderliche Wissen zur Wiederaufnahme der Wertschöpfungsaktivitäten erlangt wird [WPF+20, S. 129f.].

Bewertung: Das Referenzmodell für wissensgetriebene Datenbereitstellungsprozesse beschreibt auf einer allgemeinen Ebene, wie Datenanalysen Wertschöpfungsaktivitäten unterstützen können. Besonders interessant ist das auch visuell betonte Ausbrechen aus den klassischen Wertschöpfungsaktivitäten, um den Wissensbedarf mit Datenanalysen zu adressieren. In Folge seiner Generalität ist das Modell inhaltlich jedoch weit von der Betriebsdaten-gestützten Produktplanung entfernt. Darüber hinaus wird das konkrete methodische Vorgehen im Referenzmodell nicht beschrieben.

3.2.5 Analytics-Canvas nach KÜHN ET AL.

Zur Beschreibung und Spezifizierung von DA-Projekten in produzierenden Unternehmen stellen KÜHN ET AL. ein Analytics-Canvas bereit [KJR+18]. Dessen theoretische Grundlage bildet ein Analytics-Schichtenmodell, das aus den vier Schichten (1) Datenquellen, (2) Daten-Infrastruktur, (3) Datenanalyse sowie (4) Anwendungsfall besteht [KJR+18, S. 164f.]. Mit der ersten Schicht erweitert es ein ursprünglich von REINHART ET AL. vorgestelltes Schichtenmodell, das lediglich die letzten drei genannten Schichten beinhaltet [RKD17, S. 326f.]. Das Modell zeigt die Zusammenhänge der vier Schichten in DA-Projekten und stellt damit einen Ausgangspunkt für vertiefende Arbeiten dar. Bild 3-14 zeigt das Analytics-Schichtenmodell in Anlehnung an KÜHN ET AL. [KJR+18, S. 164].

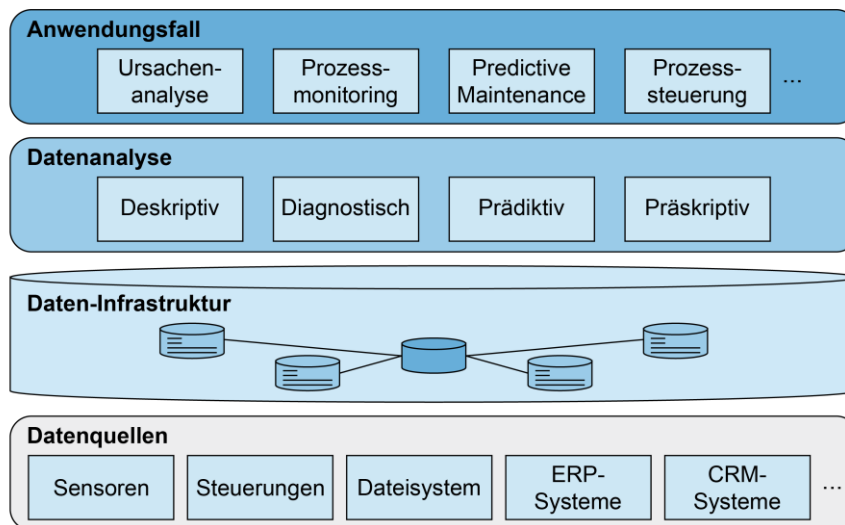


Bild 3-14: Analytics-Schichtenmodell nach KÜHN ET AL. [KJR+18, S. 164]

Mit dem Analytics-Canvas überführen KÜHN ET AL. das Schichtenmodell in ein anwendbares Spezifizierungs- und Analyse-Werkzeug. Der Aufbau des Analytics-Canvas ist dabei im Wesentlichen aus dem Schichtenmodell abgeleitet. Veränderungen gibt es lediglich an der *Daten-Infrastruktur*- und der *Datenquellen*-Schicht. Die *Daten-Infrastruktur* wird im Canvas in die zwei Schichten *Daten-Pools* und *Datenbeschreibung* aufgeteilt. Die *Datenquellen*-Schicht wird hingegen mit den drei tieferliegenden Schichten *Ressourcen*, *manuelle Datensammlung* und *automatisierte Datensammlung* präzisiert.

In der Anwendung wird das Canvas zur Planung oder Beschreibung eines DA-Projekts mit ebenfalls bereitgestellten Konstrukten befüllt. Konstrukte für die Datenquellen-Schicht sind *Produktionsressourcen*, *analoge Datenspeicher* und *IT-Systeme*. Für die Bestimmung des Datentyps stehen Konstrukte für *analoge* und *digitale Dokumente* zur Verfügung. Mit dem Konstrukt *Beschreibung des Datentyps* werden die erforderlichen Daten in der Datenbeschreibungs-Schicht spezifiziert. Das *Daten-Pool*-Konstrukt gibt in der gleichnamigen Schicht an, wo die Daten gespeichert sind oder werden sollen. Zur Beschreibung des Anwendungsfalls in der oberen Schicht dient das Konstrukt *Analytics-Use-Case*. Anhand der Farbe der Konstrukte wird beschrieben, ob sie vorhanden sind. Vorhandene Konstrukte werden blau, nicht vorhandene rot dargestellt. Bild 3-15 demonstriert die Anwendung des DA-Canvas sowie der Konstrukte an einem Beispiel.

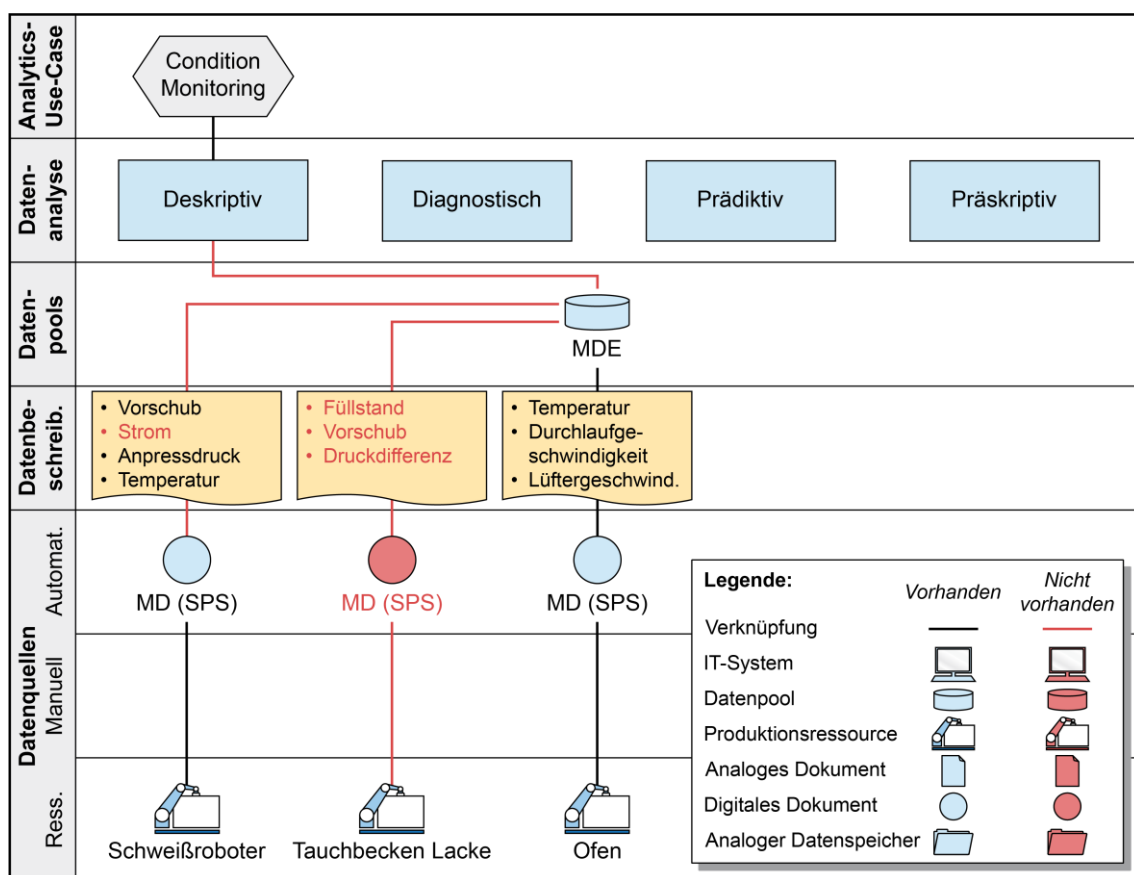


Bild 3-15: Analytics-Canvas nach KÜHN ET AL. [KJR+18, S. 165f.]

Bewertung: Das Analytics-Canvas von KÜHN ET AL. ist ein nützliches Werkzeug zur Spezifizierung und Analyse von DA-Projekten. Wenngleich Analytics-Experten die direkten Adressaten des Canvas darstellen, bietet es auch für Produktexperten interessante Möglichkeiten. In der frühen Phase eines DA-Projekts unterstützt es z. B. ein gemeinsames Verständnis der durchzuführenden Datenanalyse. Nach der Analyse stellt es relevante Informationen für die Interpretation der Datenanalyse-Ergebnisse bereit. Somit könnte es in den genannten Schritten eine nützliche Ergänzung darstellen.

3.2.6 Reifegradmodell für Big Data Analytics nach DREMEL ET AL.

Da keiner der konkurrierenden Ansätze aus Abschnitt 3.1 die Anforderung zur Ermittlung eines geeigneten Stärken-Schwächen-Profiles erfüllt, wird im Folgenden ein Data-Analytics-Reifegradmodell untersucht. Stellvertretend für zahlreiche bestehende Modelle wird das Reifegradmodell für Big Data Analytics nach DREMEL ET AL. vorgestellt, da dieses auf einer holistischen Unternehmensbetrachtung aufsetzt [DOS+17]. Weitere Reifegradmodelle nennen z. B. KRÓL und ZDONEK [KZ20].

Das Reifegradmodell für Big Data Analytics nach DREMEL ET AL. zeigt notwendige Kompetenzen auf, die Unternehmen zur Erschließung der Potentiale von Data Analytics benötigen. Es basiert auf 16 Interviews mit Experten aus der IT-Strategieberatung. Um alle relevanten Facetten eines Unternehmens zu berücksichtigen, strukturieren die Autoren die Interview-Ergebnisse anhand des Arbeitssystem-Frameworks nach ALTER [Alt02, S. 93], [DOS+17, S. 1145f.]. Dieses ist ein bewährtes Modell zur Analyse von Arbeitssystemen in Organisationen. Es verfügt über neun Elemente: Geschäftsprozesse, Teilnehmer, Informationen, Technologien, Produkte und Services, Kunden, Umfeld, Infrastruktur und Strategien [Alt02, S. 92ff.]. Das Reifegradmodell unterscheidet acht Kompetenzfelder, in denen insgesamt 34 Kompetenzen organisiert sind. Die Kompetenzfelder sind den Elementen des Arbeitssystem-Frameworks zugeordnet [DOS+17, S. 1146f.]. Bild 3-16 stellt dies dar.

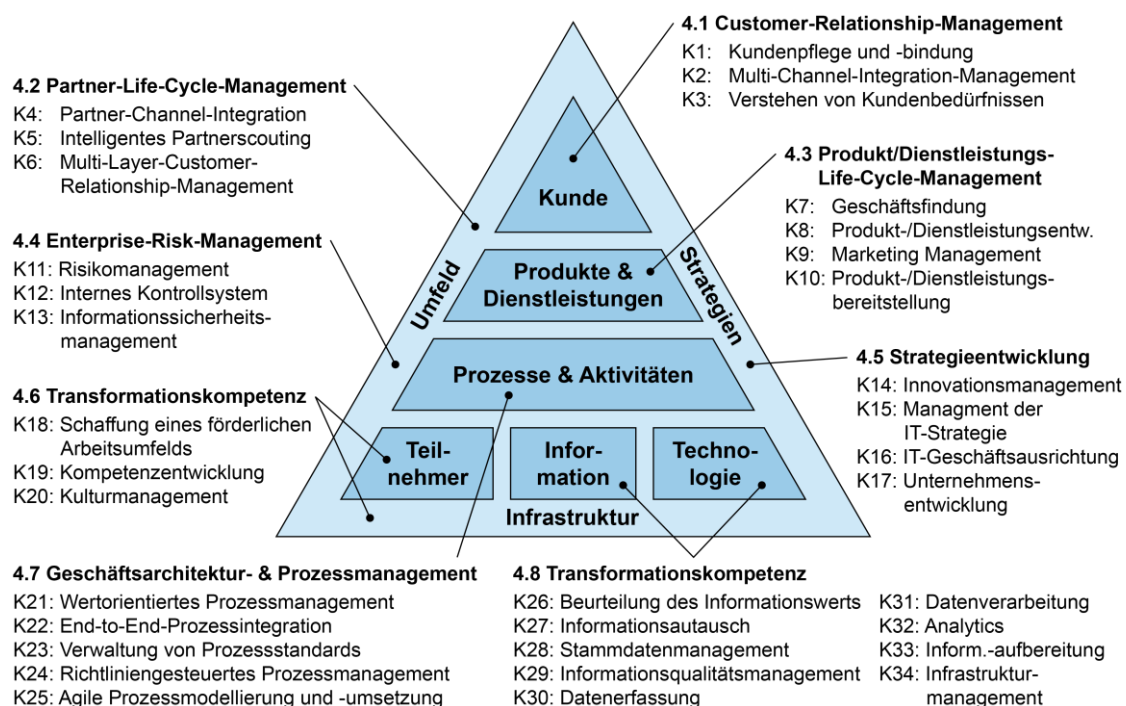


Bild 3-16: Reifegradmodell für Big Data Analytics nach DREMEL ET AL. [DOS+17, S. 1146]

Bewertung: Das Reifegradmodell für Big Data Analytics nach DREMEL ET AL. liefert einen umfassenden Überblick über Kompetenzen, die Unternehmen für den erfolgreichen

Einsatz von Data Analytics beherrschen müssen. Für die Ermittlung von Stärken und Schwächen hinsichtlich der Betriebsdaten-gestützten Produktplanung lässt es sich jedoch nicht einfach nutzen. Vor dem Hintergrund der Untersuchungen in Abschnitt 2.4.3 wird deutlich, dass nur wenige der aufgeführten Kompetenzen entscheidend für die Betriebsdaten-gestützte Produktplanung sind. Dazu liefern generische Kompetenzen wie Risikomanagement oder IT-Strategie-Management kaum hilfreiche Hinweise für die Ausgestaltung der Betriebsdaten-Analysen. Diese Einschätzung wird auch für weitere Data-Analytics-Reifegradmodelle geteilt.

3.3 Ergänzende Ansätze zur Produktgenerationsplanung

Abschließend werden acht ausgewählte Ansätze zur Produktgenerationsplanung vorgestellt, um zu untersuchen, ob die bisher identifizierten Lücken im Stand der Forschung so geschlossen werden können. Bei den ausgewählten Ansätzen fällt auf, dass alle aus der Karlsruher und der Paderborner Schule stammen. Dies ist vor allem in den langjährigen Forschungsschwerpunkten zur Produkt- und Systemgenerationsentwicklung in Karlsruhe und zur strategischen Produktplanung in Paderborn begründet, die jeweils inhaltliche Alleinstellungsmerkmale der entsprechenden Schulen erzeugt haben. Da die strategische Planung neuer Produktgenerationen einen Schwerpunkt der vorliegenden Arbeit darstellt, bilden die Vorarbeiten der Karlsruher und der Paderborner Schule den Stand der Forschung zur Produktgenerationsplanung ab.

3.3.1 Modell der SGE – Systemgenerationsentwicklung nach ALBERS

Zur systematischen Beschreibung der Produkt- und Systementstehung schlagen ALBERS und RAPP das Modell der SGE – Systemgenerationsentwicklung nach ALBERS vor [AR22]. Dieses ist eine Verallgemeinerung des ursprünglichen Modells der PGE – Produktgenerationsentwicklung nach ALBERS, das sich ausschließlich auf Produkte bezieht [ABW15A], [ABW15B]. Es beruht auf zwei fundamentalen Hypothesen, die nachfolgend erläutert werden.

Die **erste Grundhypothese** besagt, dass neue Systeme stets auf der Basis eines sogenannten Referenzsystems entwickelt werden. Die Elemente dieses Referenzsystems beschreiben bereits existierende oder geplante sozio-technische Systeme sowie deren Dokumentation. Dazu gehören z. B. unternehmenseigene Vorgänger- und Wettbewerbsprodukte, aber auch branchenferne Lösungen oder Forschungsergebnisse [ARS+19, S. 1699f.], [ABH+20, S. 12].

Die **zweite Grundhypothese** stellt fest, dass die Entwicklung einer neuen Systemgeneration durch eine Kombination von Übernahme-, Ausprägungs- und Prinzipvariationen der Referenzsystem-Elemente geschieht. *Übernahmevariationen* beschreiben dabei, dass bestehende Referenzsystemelemente im Sinne einer Black-Box in die neue Systemgene-

ration übernommen werden. Anpasst werden nur die Schnittstellen, um die Anforderungen der Systemintegration zu erfüllen. *Ausprägungsvariationen* zeichnen sich dadurch aus, dass die betrachteten Referenzsystem-Elemente und die Verbindungen zwischen ihnen in die neue Systemgeneration übernommen werden, die Eigenschaften der Referenzsystem-Elemente jedoch variiert werden. Im Gegensatz dazu haben *Prinzipvariationen* eine Variation der Referenzsystem-Elemente und der Verbindungen zwischen ihnen zur Folge. Dies kann z. B. die Elimination eines bestehenden oder die Ergänzung eines neuen Referenzsystem-Elements bedeuten. Durch derartige Operationen wird ein neues Lösungsprinzip realisiert, das so im Referenzsystem nicht vorhanden ist [ARF+20, S. 2241], [ABW15a, S. 18f.], [ABW15b, S. 4f.]. Bild 3-17 zeigt die drei Variationsarten am Beispiel einer Smart-Home-Branderkennung.

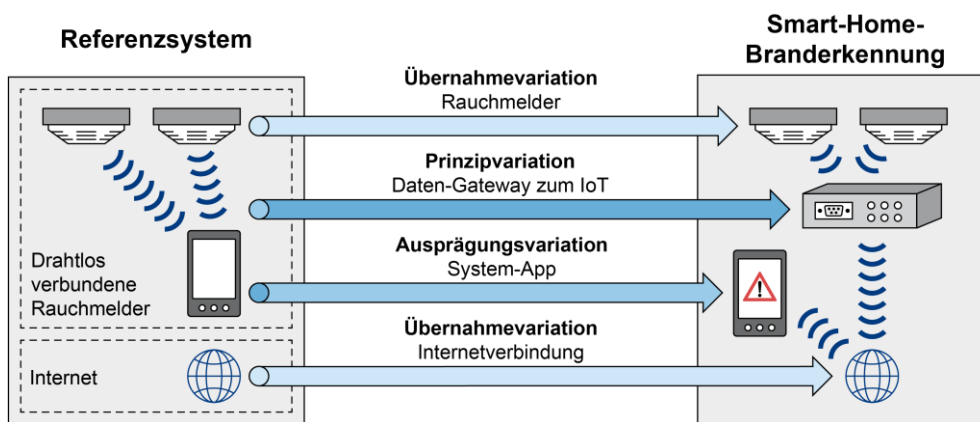


Bild 3-17: Darstellung der drei Variationsarten am Beispiel einer Smart-Home-Branderkennung in Anlehnung an ALBERS und RAPP [AR22, S. 31]

Vor dem Hintergrund dieser beiden Hypothesen kann eine neue Systemgeneration G_n mathematisch als Vereinigung dreier Teilmengen von Referenzsystem-Elementen beschrieben werden: (1) die Teilmenge der Referenzsystem-Elemente, die mit möglichst geringen Anpassungen übernommen werden ($\ddot{U}S_n$); (2) die Teilmenge der Referenzsystem-Elemente, die durch Ausprägungsvariationen neu entwickelt werden (AS_n); (3) die Teilmenge der Referenzsystem-Elemente, die durch Prinzipvariationen neu entwickelt werden (PS_n) [AR22, S. 32], [ABW15b, S. 5]. Formal wird dies von Gleichung 3-1 ausgedrückt:

$$G_n = \ddot{U}S_n \cup AS_n \cup PS_n$$

Gleichung 3-1: Neue Systemgeneration als Vereinigung der Teilmengen von übernommenen sowie durch Ausprägungs- und Prinzipvariation neu entwickelten Referenzsystem-Elementen nach ALBERS ET AL. [AR22, S. 32], [ABW15b, S. 5]

Wichtige Planungs- und Analysekenzzahlen im Modell der SGE sind der Übernahme-, der Ausprägungs- und der Prinzipvariations-Anteil. Diese Kennzahlen geben an, wie groß

der Anteil der durch die jeweilige Variationsart entwickelten Subsysteme an der Gesamtzahl aller Subsysteme der neuen Systemgeneration ist. Gleichung 3-2 zeigt dies am Beispiel des Prinzipvariations-Anteils:

$$\delta_{PV,n} = \frac{|PS_n|}{|G_n|} = \frac{|PS_n|}{|\ddot{U}S_n \cup AS_n \cup PS_n|} [\%]$$

Gleichung 3-2: Berechnung des Prinzipvariations-Anteils nach ALBERS ET AL. [AR22, S. 32], [ABW15b, S. 5]

Die Berechnung von Übernahme- bzw. Ausprägungsvariations-Anteil geschieht analog. Der gesamte Neuentwicklungsanteil $\delta_{N,n}$ berechnet sich aus der Summe des Ausprägungs- ($\delta_{AV,n}$) und des Prinzipvariations-Anteils ($\delta_{PV,n}$) [ABW15b, S. 5].

Bewertung: Das Modell der SGE – Systemgenerationsentwicklung nach ALBERS ist eine umfassende Lösung zur Beschreibung der Produktgenerationsplanung. Die Gedanken des Referenzsystems und der drei Variationsarten stellen hochrelevante Aspekte dar, die in der etablierten strategischen Produktplanung noch nicht berücksichtigt werden. Das Beschreibungsmodell bietet damit eine interessante Grundlage für die Entwicklung eines Referenzmodells für die strategische Planung neuer Produktgenerationen. Darüber hinaus verspricht es auch, als Richtlinie für das methodische Vorgehen zur Planung neuer Produktgenerationen agieren zu können.

3.3.2 iPeM – Integriertes Produktentstehungsmodell nach ALBERS

Mit dem iPeM – Integriertes Produktentstehungsmodell stellt ALBERS ein Metamodell¹⁷ zur Modellierung von Produktentstehungsprozessen bereit [ARB+16]. Grundlage des Modells ist die Hypothese, dass die Produktentstehung auch als Transformation eines zu Beginn vagen Zielsystems in ein konkretes Objektsystem durch ein Handlungssystem verstanden werden kann [Alb10, S. 346]. Das **Zielsystem** beschreibt dabei eine Menge von Zielen, Restriktionen und Randbedingungen für die Produktentstehung sowie deren Wechselwirkungen [Rop09, S. 152], [ABH+20, S. 19]. Das **Objektsystem** umfasst alle Artefakte, die im Produktentstehungsprozess erzeugt werden [ABH+20, S. 19]. Das **Handlungssystem** wird als soziotechnisches System verstanden, das Ziel- und Objektsystem erstellt und bidirektional verbindet [Rop09, S. 100]. Es enthält die Ressourcen des Produktentstehungsprozesses und übt dessen Aktivitäten aus [ABH+20, S. 19]. Konkret bedeutet dies: Erkenntnisse der Analyse des Ziel- bzw. Objektsystems fließen in den Lösungsraum bzw. die Wissensbasis des Handlungssystems ein. Dies ermöglicht eine Ziel- bzw. Objektsynthese, mit der das Ziel- bzw. Objektsystem erschaffen oder weiterentwickelt wird. Der stete Wechsel zwischen **Analyse** und **Synthese** betont den iterativen Charakter der Produktentstehung [AEL12, S. 273]. Bild 3-18 visualisiert die Ausführungen.

¹⁷ Ein Metamodell enthält nach ALBERS ET AL. allgemeine Beschreibungen zu Elementen und deren Beziehungen, die benötigt werden, um spezifische Modelle aufbauen zu können [ABH+20, S. 21].

Das iPeM beschreibt **mehrere Ebenen** der Produktentstehung, die im grafischen Modell hintereinander dargestellt sind. Mit dem Produkt, dem Validierungssystem, dem Produktionssystem und der Strategie adressieren die Ebenen unterschiedliche Aspekte des Produktentstehungsprozesses [ARB+16, S. 104]. Die *Produktebene* beschreibt die Entwicklung des Produkts selbst. Jede betrachtete Produktgeneration wird dabei durch eine eigene Ebene repräsentiert. Auf der *Validierungssystem-Ebene* werden die Elemente zur Validierung des Produkts betrachtet. Zweck der *Produktionssystem-Ebene* ist die Beschreibung der Entwicklung des Produktionssystems. Strategische Aspekte werden abschließend auf der *Strategie-Ebene* abgebildet.

Jede Ebene des Modells besitzt den **gleichen Aufbau**: Links befindet sich das Zielsystem, in der Mitte das Handlungssystem und rechts das Objektsystem. Während jede Ebene ein eigenes Objektsystem besitzt, werden das Ziel- und das Handlungssystem durchgängig modelliert [ARB+16, S. 103f.]. Das Handlungssystem greift dabei kontinuierlich Teilziele aus dem Zielsystem auf und bearbeitet diese. Die Gestalt- oder Erkenntnisobjekte, die in den Aktivitäten des Handlungssystems entstehen, erweitern sukzessive das jeweilige Objektsystem. Bestehende Objekte können wiederum im Handlungssystem weiterbearbeitet werden und Auslöser für neue Teilziele sein. Zusammengefasst können in jeder Aktivität des Handlungssystems bestehende Teilziele und Objekte aufgegriffen werden und auch neue Teilziele und Objekte entstehen [ABH+20, S. 26].

Das **Handlungssystem** setzt sich aus drei Elementen zusammen: (1) der Aktivitätenmatrix, (2) dem Ressourcensystem sowie (3) dem Phasenmodell. (1) Die **Aktivitätenmatrix** stellt die *Aktivitäten der Produktentstehung* und die *Aktivitäten der Problemlösung* gegenüber. Die *Aktivitäten der Produktentstehung* beschreiben relevante Tätigkeiten, die im Produktlebenszyklus aus Entwicklungssicht unterschieden werden. Zu diesen sind z. B. in [ABH+20, S. 21ff.] weitere Informationen zu finden. Die *Aktivitäten der Problemlösung* unterstützen hingegen die Modellierung des Problemlösungsprozesses. Im iPeM wird dafür die Problemlösungsmethodik SPALTEN genutzt [ABM+05, S. 4ff.]. Deren Name ist ein Akronym für die sieben vorgeschlagenen Prozessschritte: Situationsanalyse, Problemeingrenzung, Alternative Lösungssuche, Lösungsauswahl, Tragweitenanalyse, Entscheiden und Umsetzen sowie Nachbereiten und Lernen [ABH+20, S. 24]. In Folge der Gegenüberstellung der jeweiligen Aktivitäten zeigt die Aktivitätenmatrix, dass bei jeder Aktivität der Produktentstehung ein Problemlösungsprozess durchlaufen wird, der mit der SPALTEN-Methodik modelliert werden kann.

(2) Mit dem **Ressourcensystem** werden unter anderem Mitarbeiter, Kapital, Informationen und Arbeitsmittel erfasst. Diese werden den Feldern der Aktivitätenmatrix zugewiesen. Erst durch die Zuweisung von Ressourcen wird es so z. B. ermöglicht, die erforderlichen Aktivitäten auf einem Zeitstrahl anzuordnen [ABH+20, S. 26].

(3) Im **Phasenmodell** wird abschließend die zeitliche Abfolge der Aktivitäten abgebildet. Mehrere zeitlich parallele Aktivitäten werden dadurch zu Phasen eines Produktentstehungsprozesses. Für die Modellierung der zeitlichen Abfolge werden drei Prozesse unterschieden: der Referenzprozess, der Soll-Prozess und der Ist-Prozess [ABH+20, S. 27].

Bewertung: Das Metamodell iPeM – Integriertes Produktentstehungsmodell nach ALBERS basiert auf dem zuvor eingeführten Modell der SGE – Systemgenerationsentwicklung nach ALBERS sowie dem Tripel aus Ziel-, Handlungs- und Objektsystem. Für die vorliegende Arbeit liefert das iPeM Hinweise für ein Referenzmodell für die strategische Planung neuer Produktgenerationen, für einen Referenzprozess für die Betriebsdaten-gestützte Produktplanung sowie für das methodische Vorgehen zur Planung neuer Produktgenerationen.

3.3.3 Modellierung von Produktprofilen nach ALBERS ET AL.

Wie das integrierte Produktentstehungsmodell nach ALBERS zeigt, ist das Finden von Produktprofilen eine der wesentlichen Aufgaben der frühen Phase der Produktentstehung (Abschnitt 3.3.2). ALBERS ET AL. beschreiben das Produktprofil als das Modell eines Nutzenbündels, das dessen angestrebten Anbieter-, Kunden- und Anwendernutzen für die Validierung zugänglich macht und dabei den Lösungsraum für die Gestaltung einer neuen Produktgeneration vorgibt [AHW+18, S. 255]. Mit diesem wird die „*ganzheitliche, systemische Zielbildung einer Produktgeneration*“ unterstützt [AHH+19, S. 255]. Für die Modellierung von Produktprofilen schlagen ALBERS ET AL. die Ausgestaltung von **zwölf Modulen** vor [AHW+18, S. 257f.]. Diese werden im Folgenden kurz beschrieben.

Mit dem (1) **Produktclaim** wird das Hauptziel in der Form „*Wir brauchen ein Produkt, das ...*“ definiert. Das (2) **Bild** stellt eine Skizze oder einfache Visualisierung des Produkts dar, ohne die technische Lösung zu explizieren. Das Modul (3) **Initiale Produktbeschreibung** enthält weitere Informationen über das potentielle Produkt, z. B. Produkteigenschaften, Hauptfunktionen oder Alleinstellungsmerkmale. Im (4) **Referenzsystem** werden Referenzelemente aufgeführt, z. B. Vorgängergenerationen und Wettbewerbsprodukte. Mit den (5) **Use Cases** wird beschrieben, in welchen Situationen das Produkt eine Lösung darstellt [AHW+18, S. 257f.].

Im Anschluss wird der Nutzen des Produkts für den Anbieter sowie Kunden und Anwender beschrieben. Der (6) **Anbiaternutzen** gibt an, wie der Anbieter von der Entwicklung des Produkts profitieren könnte. Mit dem (7) **Kundennutzen** wird beschrieben, welche Kundenprobleme das Produkt lösen könnte und wie Kunden von dem Produkt profitieren könnten. Der (8) **Anwendernutzen** betrachtet die gleichen Aspekte aus der Sicht der Anwender, die insbesondere im Business-to-Business-Kontext von den Kunden unterschieden werden müssen [AHW+18, S. 257f.].

Vor dem Hintergrund der Produkt- und Nutzenbeschreibung wird die (9) **Wettbewerbs-situation** erfasst. Die (10) **Nachfrage** legt daraufhin dar, wie die Nachfrage am Markt zu

bewerten ist, z. B. hinsichtlich des Marktpotentials. Die Art und das Vorgehen zur Validierung des Produktprofils wird im Modul (11) **Validierung des ... durch** festgelegt. Abschließend geben die (12) **Rahmenbedingungen/Einschränkungen** Umfeldfaktoren an, die in der Produktentstehung nicht direkt beeinflusst werden können [AHW+18, S. 257f.].

Für die Dokumentation von Produktprofilen nutzen ALBERS ET AL. ein Schema, das in Bild 3-20 abgebildet ist.

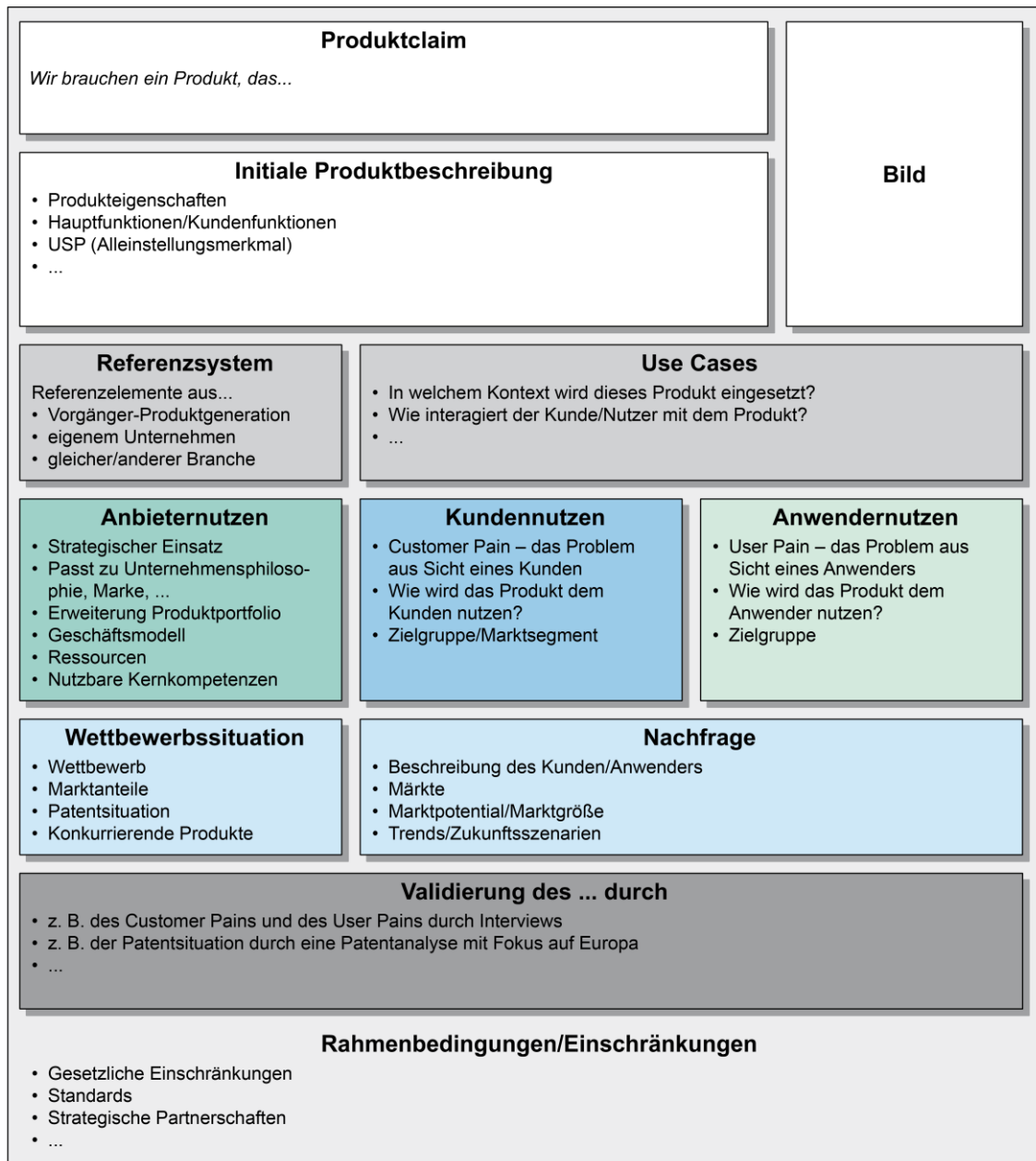


Bild 3-20: Produktprofil-Schema nach ALBERS ET AL. [AHW+18, S. 257], Darstellung nach RAPP [Rap21, S. 13]

Bewertung: Die Modellierung von Produktprofilen nach ALBERS ET AL. eignet sich für die frühe Beschreibung neuer Produktgenerationen, ohne bereits technische Details der Produktrealisierung angeben zu müssen. Im Rahmen dieser Arbeit besitzt das Produktprofil das Potential, zur Entwicklung eines Referenzmodells für die strategische Planung neuer Produktgenerationen beizutragen, die Ermittlung strategisch relevanter Untersuchungsbedarfe durch die Abbildung von Produktvisionen zu ermöglichen und die methodische Planung neuer Produktgenerationen zu unterstützen.

3.3.4 3-Säulen-Modell der Produktstrategie nach GAUSEMEIER ET AL.

Zur systematischen Beschreibung von Produktstrategien stellen GAUSEMEIER ET AL. das 3-Säulen-Modell der Produktstrategie vor [GDE+19, S. 315f.]. Es ist eine Antwort der Autoren auf die Feststellung, dass vielen Unternehmen das Verständnis fehlt, was eine Produktstrategie ist und was sie ausmacht.

Den Kern des 3-Säulen-Modells der Produktstrategie bilden drei übergeordnete Handlungsfelder der Produktstrategie, die durch drei Säulen repräsentiert werden. Diese sind die *Differenzierung im Wettbewerb*, die *Bewältigung der Variantenvielfalt* sowie die *Erhaltung des Wettbewerbsvorsprungs*. Alle Handlungsfelder sind für jedes Produkt des Produktprogramms mit dem Ziel eines nachhaltig erfolgreichen Geschäfts auszugestalten [GDE+19, S. 315]. Das Produktprogramm stellt daher das Fundament dar, auf dem die drei Säulen des Modells stehen. Bild 3-21 visualisiert das 3-Säulen-Modell der Produktstrategie. Die drei Handlungsfelder werden im Folgenden beschrieben.

- (1) **Differenzierung im Wettbewerb:** Das erste Handlungsfeld der Produktstrategie adressiert die Positionierung des Produkts am Markt. In diesem Zuge wird festgelegt, wie eine Differenzierung im Wettbewerb erreicht werden soll. Außerdem wird definiert, welche Varianten eines Produkts bzw. einer Produktfamilie am Markt angeboten werden sollen [GDE+19, S. 315].
- (2) **Bewältigung der Variantenvielfalt:** Aufbauend auf den Erkenntnissen zur Differenzierung im Wettbewerb und der darin geforderten Variantenvielfalt umfasst dieses Handlungsfeld der Produktstrategie die profitable Gestaltung der Produktvarianten. Dabei werden Lösungen zu den Fragen erarbeitet, wie die Variantenvielfalt wirtschaftlich abgebildet werden kann und wie mit bestehenden Produktvarianten umgegangen werden soll [GDE+19, S. 315].

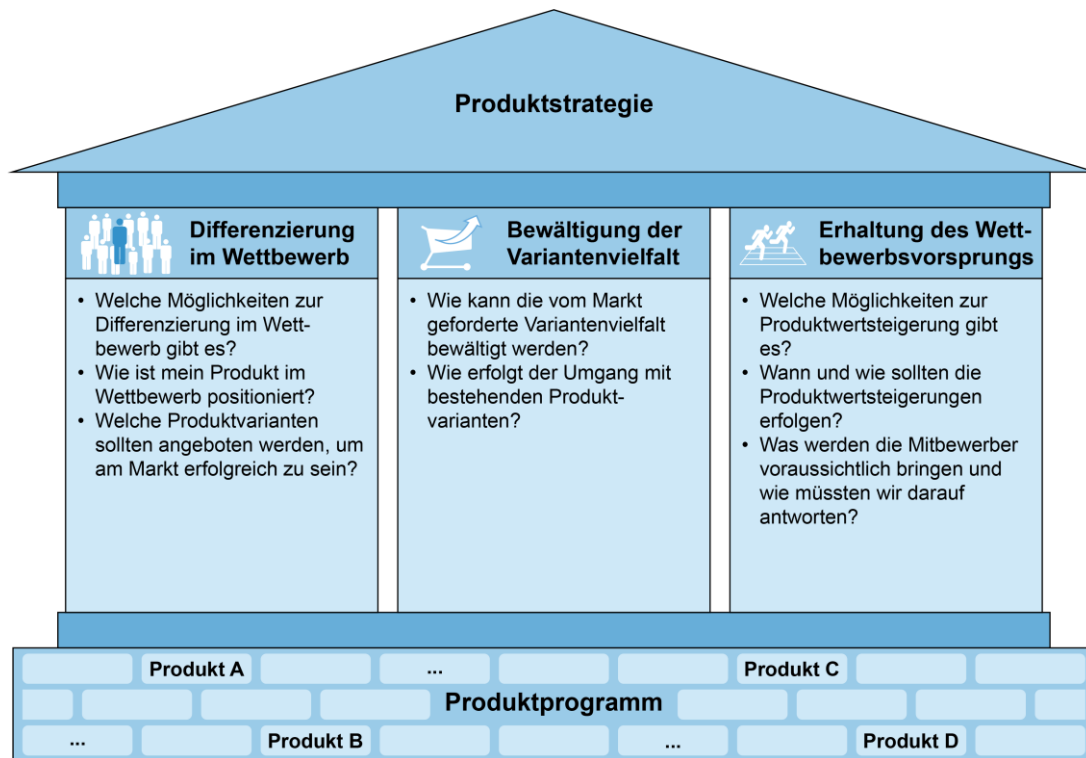


Bild 3-21: 3- Säulen-Modell der Produktstrategie nach GAUSEMEIER ET AL. [GDE+19, S. 316]

- (3) **Erhaltung des Wettbewerbsvorsprungs:** Gegenstand des dritten Handlungsfelds der Produktstrategie ist die Produktevolution. GAUSEMEIER ET AL. verstehen darunter die „vorausschauende Planung der Weiterentwicklung des Produkts über den Lebenszyklus mit dem Ziel, den initialen Wettbewerbsvorsprung langfristig zu erhalten“ [GDE+19, S. 315]. Im Fokus stehen dabei die Identifizierung von Möglichkeiten zur Produktwertsteigerung sowie die Planung, wann und wie diese erfolgen sollte. Außerdem wird betrachtet, welche Weiterentwicklungen Wettbewerber voraussichtlich bringen werden und wie darauf geantwortet werden soll [GDE+19, S. 315].

Bewertung: Produktstrategien sind eines der wesentlichen Ergebnisse der strategischen Produktplanung und werden deshalb auch im Rahmen dieser Arbeit adressiert. Das 3-Säulen-Modell beschreibt die übergreifenden Handlungsfelder einer solchen Strategie. In der vorliegenden Arbeit könnte das Modell damit zur Bereitstellung eines Referenzmodells für die strategische Planung neuer Produktgenerationen, zur Ermittlung von Untersuchungsbedarfen sowie zur methodischen Planung neuer Produktgenerationen beitragen. In seiner gegenwärtigen Form betrachtet das 3-Säulen-Modell jedoch nur eine Produktgeneration und ist somit entsprechend zu adaptieren.

3.3.5 Release-Planung intelligenter technischer Systeme nach KÜHN

KÜHN liefert eine Systematik zur Release-Planung intelligenter technischer Systeme [Küh17]. Kern der Systematik sind drei Vorgehensmodelle. Diese betreffen die strategische, die taktische und die operative Release-Planung. Bild 3-22 gibt einen Überblick über die Phasen der Vorgehensmodelle. Nachfolgend werden sie beschrieben.

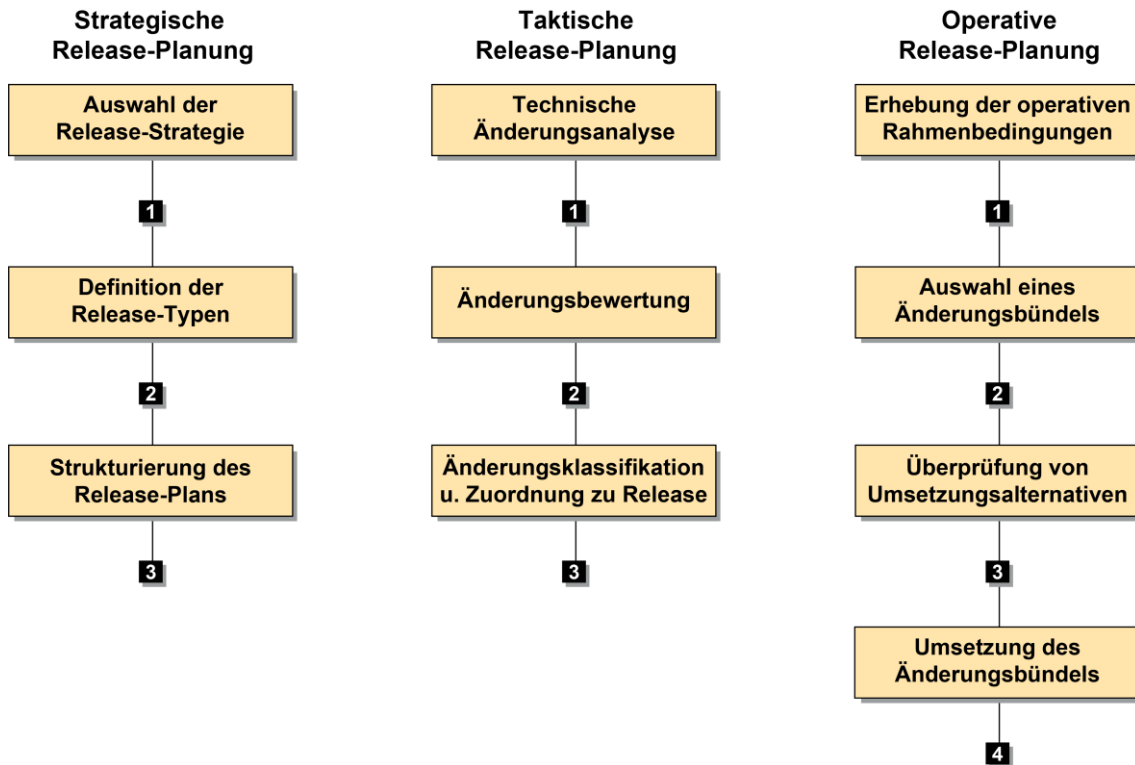


Bild 3-22: Überblick über die Phasen der Vorgehensmodelle zur strategischen (links), taktischen (mittig) und operativen (rechts) Release-Planung in Anlehnung an KÜHN [Küh17, S. 111ff.]

Das Vorgehen zur **strategischen Release-Planung** gliedert sich in drei Phasen. In der ersten Phase wird die Release-Strategie ausgewählt. KÜHN stellt dafür drei Strategiealternativen bereit. Deren Eignung wird durch eine Bewertung der Änderungswahrscheinlichkeit und der Komplexität des Zielsystems bestimmt. Danach werden in der zweiten Phase die Release-Typen definiert. Dabei werden die Anzahl und die Eigenschaften der Release-Typen festgelegt und ein Klassifikationsschema erarbeitet, das die spätere Zuordnung von Veränderungen zu Release-Typen ermöglicht. Die dritte Phase umfasst die Strukturierung des Release-Plans in Form von Planungshorizonten und Release-Zeitpunkten. Das Ergebnis ist ein initialer Release-Plan [Küh17, S. 111f.].

Für die **taktische Release-Planung** werden ebenfalls drei Phasen durchlaufen. Die erste Phase adressiert die technische Änderungsanalyse. In der zweiten Phase werden die Änderungen anhand der Änderungskomplexität und -relevanz, der Produktwertsteigerung

sowie organisatorischer Aspekte bewertet. Darauf folgt die dritte Phase, in der die Änderungen klassifiziert und einem Release zugeordnet werden. Dabei wird auf ein ausgewogenes Verhältnis an kundenrelevanten Änderungen geachtet [Küh17, S. 113f.].

Die **operative Release-Planung** erfolgt in vier Phasen. In der ersten Phase werden die operativen Rahmenbedingungen für das Release-Vorhaben erhoben. Anschließend werden die beabsichtigten Änderungen in der zweiten Phase zu konsistenten Änderungsbündeln kombiniert. Nach einer Priorisierung werden in der dritten Phase Maßnahmen für Änderungen definiert, die nicht im priorisierten Änderungsbündel enthalten sind, z. B. die Verschiebung auf ein späteres Release. Die abschließende Phase beschäftigt sich mit der Umsetzung des Änderungsbündels [Küh17, S. 115f.].

Zur Unterstützung der Kommunikation in der Release-Planung schlägt KÜHN außerdem die Erarbeitung eines **Systemmodells** vor. Dafür definiert er fünf Diagramme: (1) Anforderungen, (2) Funktionen, (3) Wirkstruktur, (4) Feature-Modell und (5) Release-Plan [Küh17, S. 117]. Die ersten drei sind der Spezifikationstechnik CONSENS entnommen [GDE+19, S. 419ff.], die letzten beiden ergänzt KÜHN [Küh17, S. 118ff.]. Bild 3-23 stellt das Zusammenwirken der Diagramme dar.

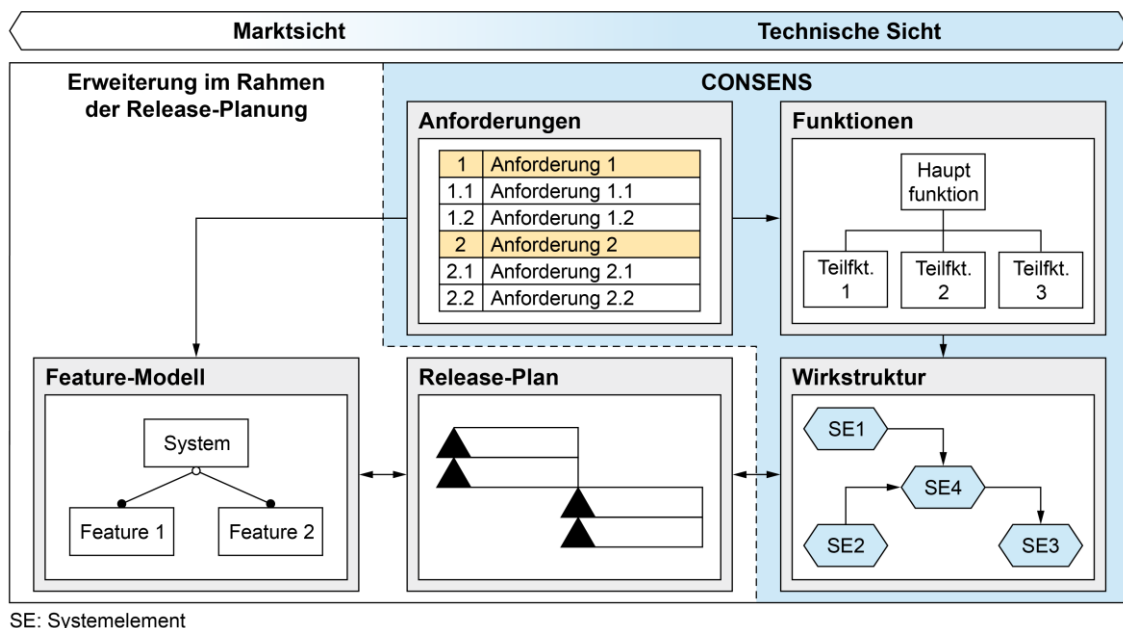


Bild 3-23: Zusammenwirken relevanter Diagramme zur Systemmodellierung in der Release-Planung nach KÜHN [Küh17, S. 118]

Bewertung: Die Systematik zur Release-Planung von KÜHN liefert insbesondere für die Verwertung von Betriebsdaten-Analysen in der strategischen Produktplanung relevante Impulse. Dabei sind vor allem das methodische Vorgehen zur Erstellung eines Release-Plans sowie die fünf Diagramme zur Systemmodellierung zu nennen. Deren Übernahme oder Adaption sind für die vorliegende Arbeit zu prüfen.

3.3.6 Modellgestützte Produktfindung in der Produktgenerationenplanung nach ALBERS

ALBERS präsentiert eine Systematik zur modellgestützten Produktfindung in der Produktgenerationenplanung [Alb20a]. Diese soll produzierende Unternehmen befähigen, Erfolg versprechende zusätzliche Eigenschaften zur Differenzierung neuer Produktgenerationen zu finden. Kern der Systematik ist ein Vorgehensmodell mit drei Phasen. Für jede dieser Phasen stellt ALBERS dedizierte Methoden und Hilfsmittel bereit [Alb20a, S. 99ff.]. Das Vorgehensmodell ist in Bild 3-24 abgebildet. Die Phasen werden nachfolgend beschrieben.

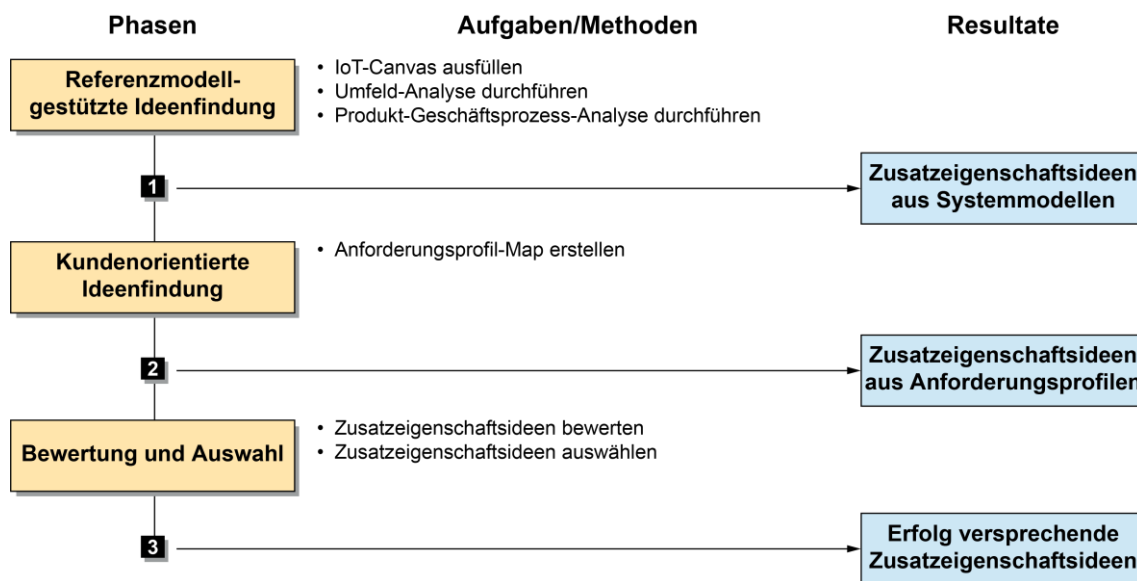


Bild 3-24: Vorgehensmodell zur modellgestützten Produktfindung in der Produktgenerationenplanung in Anlehnung an ALBERS [Alb20a, S. 101]

- (1) **Referenzmodellgestützte Ideenfindung:** In der ersten Phase werden Ideen für zusätzliche Eigenschaften anhand bestehender Systemmodelle gesucht. Dafür wird das Systemmodell der Vorgängergeneration analysiert. ALBERS stellt dafür drei Methoden bereit. (1) Die IoT-Canvas-Methode unterstützt die Identifizierung von Ideen im Kontext von Systemintelligenz und -vernetzung. (2) Mit der Umfeld-Analyse-Methode wird die Ideenfindung ausgehend vom Umfeld des Produkts angeregt. (3) Die Produkt-Geschäftsprozess-Analyse-Methode stellt die Geschäftsprozesse der Kunden in den Fokus der Ideenfindung. Jede Methode greift bestehende Systemmodelle auf und nutzt diese zur Ideenfindung. Auf diese Weise werden Probleme und Verbesserungspotentiale der bestehenden Lösungen sowie Zusatzeigenschaftsideen identifiziert [Alb20a, S. 102ff.].
- (2) **Kundenorientierte Ideenfindung:** Gegenstand der zweiten Phase ist die Suche nach Verbesserungsideen, die Kundenbedürfnisse befriedigen und Kundennutzen stiften. Zur Analyse von Kundenbedürfnissen sowie der Generierung zugehöriger Ideen wird die sog. Anforderungsprofil-Map methodisch eingesetzt. In dieser

werden je Kundensegment die Stakeholder, Ziele, Aufgaben und Probleme modelliert, um daraus Erfolg versprechende Produkteigenschaften abzuleiten. Zum Ausfüllen der Anforderungsprofil-Map stellt ALBERS zahlreiche Leitfragen bereit. Wie die Methoden in der ersten Phase liefert diese Methode Ideen für zusätzliche Eigenschaften neuer Produktgenerationen [Alb20a, S. 132ff.].

- (3) **Bewertung und Auswahl:** In der dritten Phase werden die zuvor identifizierten Verbesserungsideen bewertet und ausgewählt. Die Bewertung ist in drei Stufen gegliedert. In der ersten Stufe wird die Strategiekonformität der Ideen bewertet. Nonkonforme Ideen werden nicht weiter betrachtet. Die zweite Stufe umfasst die Bewertung des Kundennutzen- sowie des Synergiepotentials der Ideen. Es werden nur die Ideen weiter betrachtet, denen ein hohes Potential zugesprochen wird. In der dritten Stufe werden die verbleibenden Ideen mit einer Nutzwertanalyse bewertet. Die Ideen mit den höchsten Nutzwerten werden ausgewählt. Für jede Bewertungsstufe stellt ALBERS adäquate Hilfsmittel zur Bewertung und Auswahl bereit [Alb20a, S. 141f.].

Bewertung: Die Systematik von ALBERS zeigt ausführlich, wie Verbesserungsideen für neue Produktgenerationen ermittelt und bewertet werden können. Methodisch interessant ist dabei insbesondere die Nutzung und Analyse der Systemmodelle der Vorgängergeneration. Dieses Vorgehen kann auch für die zu entwickelnde Systematik hilfreich sein und ist entsprechend zu prüfen.

3.3.7 Ableitung von generationsübergreifenden Zielsystemen zukünftiger Produktgenerationen durch strateg. Vorausschau nach MARTHALER

Im Kontext der zukunftsorientierten Produktentwicklung stellt MARTHALER eine Systematik zur Ableitung von generationsübergreifenden Zielsystemen zukünftiger Produktgenerationen durch strategische Vorausschau bereit [Mar21]. Sie unterstützt Entwickler dabei, Methoden der Vorausschau zur Identifizierung von Suchfeldern für innovative Verbesserungsideen einzusetzen und darauf aufbauend ihre Entwicklung generationsübergreifend zu planen [Mar21, S. 137]. Hauptbestandteil der Systematik ist ein Vorgehensmodell mit fünf Phasen, das in Bild 3-25 dargestellt ist. Die Phasen werden nachfolgend beschrieben.

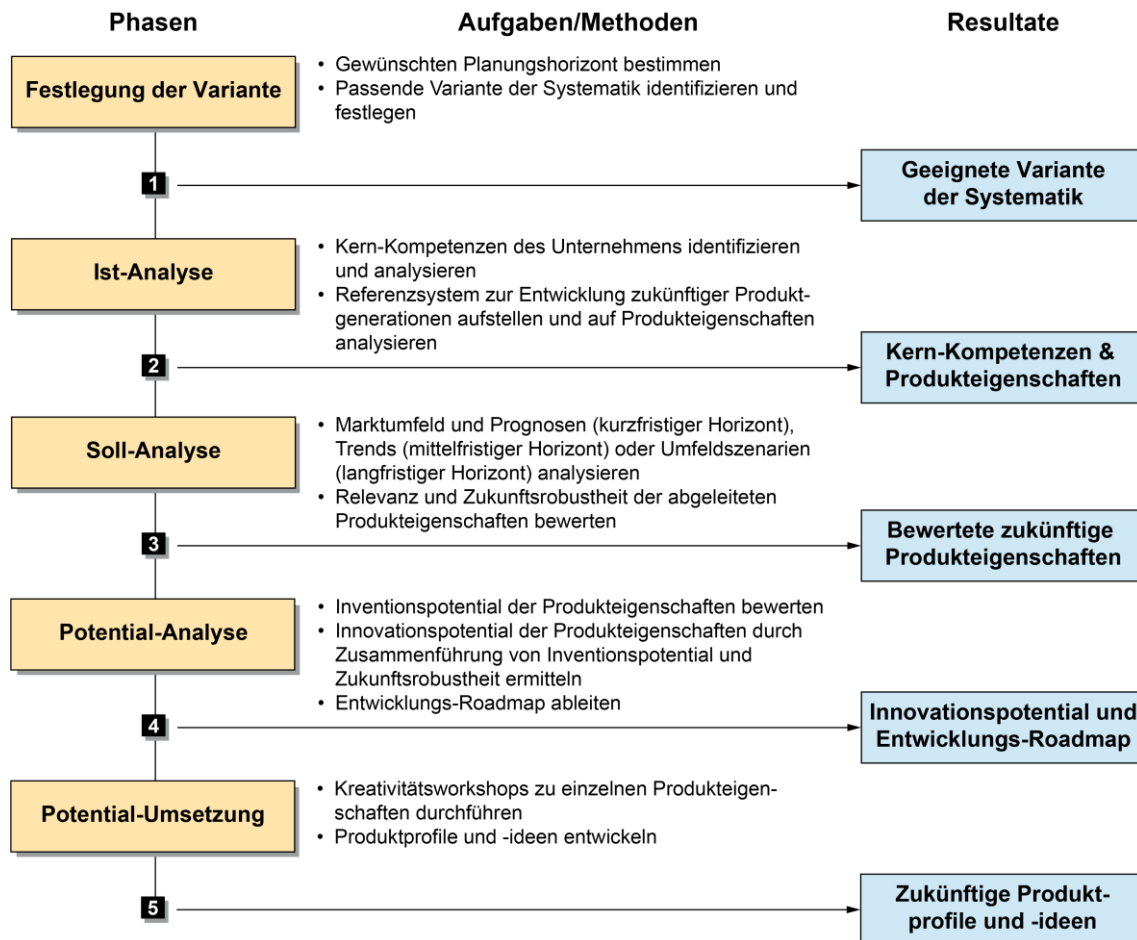


Bild 3-25: Vorgehensmodell zur Ableitung von generationsübergreifenden Zielsystemen zukünftiger Produktgenerationen durch strategische Vorausschau in Anlehnung an MARTHALER [Mar21, S. 138]

- (1) **Festlegung der Variante:** In der ersten Phase wird die durchzuführende Variante der Systematik festgelegt. Marthaler schlägt in Abhängigkeit des gewünschten Planungshorizonts der zu entwickelnden Produktgenerationen drei Varianten vor: eine kurz-, eine mittel- und eine langfristige [Mar21, S. 139ff.].
- (2) **Ist-Analyse:** Zu Beginn der zweiten Phase werden die Kern-Kompetenzen des betrachteten Unternehmens identifiziert und analysiert. Anschließend wird das Referenzsystem zur Entwicklung zukünftiger Produktgenerationen aufgestellt und im Hinblick auf Produkteigenschaften analysiert [Mar21, S. 143f.].
- (3) **Soll-Analyse:** Die dritte Phase zielt auf zukünftige Produkteigenschaften ab. In Abhängigkeit des festgelegten Planungshorizonts werden für eine kurzfristige Betrachtung das Marktumfeld sowie Prognosen bzw. für eine mittelfristige Betrachtung Trends analysiert. Für eine langfristige Betrachtung werden zunächst Umfeldszenarien entwickelt und anschließend analysiert. Ergebnis der Analysen sind jeweils mögliche zukünftige Produkteigenschaften, die anschließend hinsichtlich ihrer Relevanz und Zukunftsrobustheit bewertet werden [Mar21, S. 146ff.].

- (4) **Potential-Analyse:** In der vierten Phase wird zunächst das Inventionspotential der zukünftigen Produkteigenschaften bewertet. Dieses hängt von der Variationsart und dem aktuellen Wissensdefizit ab. Durch die Zusammenführung des Inventionspotentials und der Zukunftsrobustheit wird danach das Innovationspotential der Produkteigenschaften ermittelt. Dieses liefert Implikationen, ob die Produkteigenschaften gar nicht, früh, mittelfristig oder spät variiert werden sollten. Auf Basis dieser vier Fälle wird eine generationsübergreifende Entwicklungs-Roadmap abgeleitet [Mar21, S. 160ff.].
- (5) **Potential-Umsetzung:** Ziel der letzten Phase sind Produktprofile und -ideen, die auf der Entwicklungs-Roadmap aufbauen. Sie werden in Kreativitätsworkshops zu einzelnen Eigenschaften abgeleitet. Insbesondere Eigenschaften mit einem hohen Innovationspotential sollen dabei priorisiert betrachtet werden. Die so entwickelten Produktprofile repräsentieren abschließend konkrete Arbeitsaufträge für Entwicklungsteams [Mar21, S. 169f.].

Bewertung: MARTHALER liefert mit seiner Systematik einen wertvollen Beitrag zur strategischen Planung neuer Produktgenerationen. Der Fokus liegt dabei auf der systematischen Integration der strategischen Vorausschau in die Produktgenerationsplanung. Die dahinter liegenden Prinzipien sind insbesondere für das bereitzustellende Referenzmodell für die strategische Planung neuer Produktgenerationen relevant. Darüber hinaus werden methodische Lösungen zur Planung neuer Produktgenerationen beschrieben, deren Adaption für die zu entwickelnde Systematik zu prüfen ist.

3.3.8 Produktportfolio-übergreifendes Spezifizieren von Produktfunktionen nach FAHL

Für das Produktportfolio-übergreifende Spezifizieren von Produktfunktionen legt FAHL eine Systematik vor [Fah22]. Diese setzt sich aus drei wesentlichen Bestandteilen zusammen: (1) einem Produktfunktions-Modell, (2) einem generischen Referenz-Produktmodell sowie (3) einem Referenzprozess [Fah22, S. 157]. Letzterer beschreibt das Vorgehen zum Produktportfolio-übergreifenden Spezifizieren von Produktfunktionen in vier Phasen [Fah22, S. 197f.]. Er wird nachfolgend beschrieben und in Bild 3-26 visualisiert.

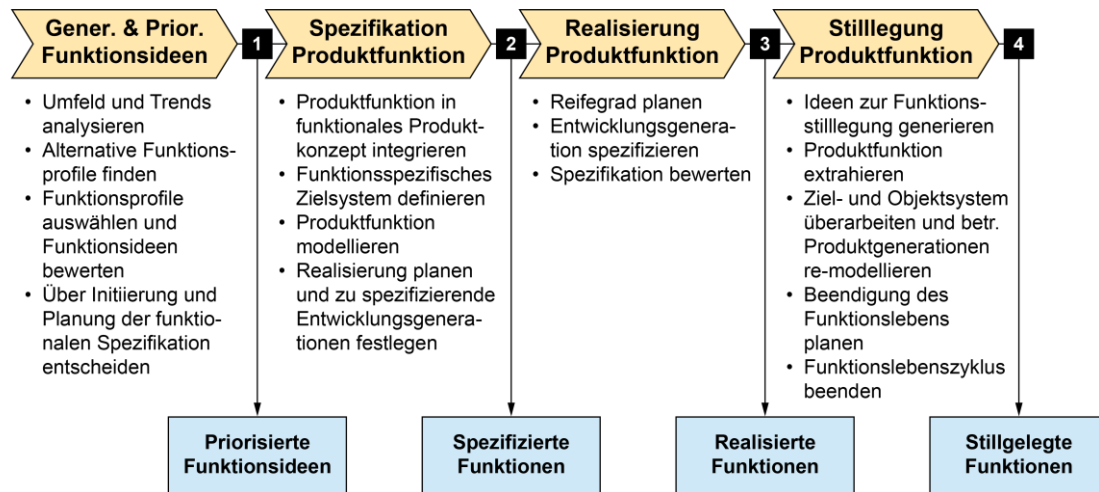


Bild 3-26: Referenzprozess zum Produktportfolio-übergreifenden Spezifizieren von Produktfunktionen in Anlehnung an FAHL [Fah22, S. 198], [FHA21, S. 7]

- (1) **Generierung und Priorisierung von Funktionsideen:** In der ersten Phase werden zunächst das Umfeld und Trends hinsichtlich relevanter neuer Produkteigenschaften analysiert. Für die identifizierten Nutzenaspekte werden alternative Funktionsprofile entwickelt. Für ausgewählte Funktionsprofile werden daraufhin konkrete Funktionsideen bewertet. Auf dieser Basis wird abschließend über die weitere Spezifikation der Funktionsideen entschieden [Fah22, S. 198ff.].
- (2) **Spezifikation einer Produktfunktion:** Die zweite Phase dient der Spezifikation einer ausgewählten Produktfunktion. Dies geschieht zunächst durch die Integration der Produktfunktion in das funktionale Produktkonzept der relevanten Produktgenerationen des Anbieters. Danach wird das Zielsystem mit Hilfe funktionspezifischer Eigenschaften und physischer Elemente definiert. Nach der anschließenden Modellierung der Funktion werden ihre Realisierung geplant und zu spezifizierende Entwicklungsgenerationen festgelegt [Fah22, S. 203ff.].
- (3) **Realisierung einer Produktfunktion:** Die Realisierung einer ausgewählten Produktfunktion geschieht in der dritten Phase. Hier wird zunächst der Reifegrad der Funktion im Sinne von priorisiert zu realisierenden Eigenschaften geplant. Anschließend wird die Entwicklungsgeneration spezifiziert. Zum Abschluss wird die Spezifikation bewertet, z. B. hinsichtlich der Eigenschaftserfüllung und Risiken. Es ist zu betonen, dass FAHL diese Phase nur verkürzt beschreibt, da sie in einer zukünftigen Arbeit von HIRSCHTER ausgearbeitet werden soll [Fah22, S. 208f.].
- (4) **Stilllegung einer Produktfunktion:** Die abschließende Phase behandelt das Ende des Lebenszyklus einer Produktfunktion. FAHL stellt hier fest, dass sich diese Phase aus ausgewählten Schritten der vorherigen Phasen zusammensetzt. So werden zunächst Ideen zur Stilllegung einer Funktion generiert, bevor die Funktion aus relevanten Produktgenerationen extrahiert wird. Anschließend werden die Ziel- und Objektsysteme überarbeitet und betroffene Produktgenerationen re-modelliert. Abschließend wird die Beendigung des Funktionslebenszyklus systematisch geplant und durchgeführt [Fah22, S. 209f.].

Bewertung: Der Referenzprozess von FAHL beschreibt, wie die Spezifikation von Produktfunktionen im Modell der SGE – Systemgenerationsentwicklung nach ALBERS erfolgt. FAHL bedient damit auf der einen Seite zwar einen engeren thematischen Fokus als den der zu entwickelnden Systematik; auf der anderen Seite demonstriert FAHL mit dem Prozess aber eindrucksvoll, wie eine wesentliche Aufgabe der klassischen Produktentstehung im Produktgenerationskontext durchzuführen ist. Durch Abstraktion zeigen sich darin Prinzipien, die im Rahmen der vorliegenden Arbeit sowohl für den bereitzustellenden Referenzprozess als auch für die methodische Planung neuer Produktgenerationen eine wertvolle Eingangsgröße darstellen können.

3.4 Handlungsbedarf

Aufbauend auf der Beschreibung und Bewertung der ausgewählten Ansätze des Stands der Forschung wurde untersucht, inwieweit die vorgestellten Ansätze die Anforderungen an die Systematik aus Abschnitt 2.5 erfüllen. Wie Bild 3-27 zeigt, **erfüllt weder ein einzelner Ansatz noch eine einfache Kombination mehrerer Ansätze die Anforderungen in vollem Umfang**. Im Folgenden wird dies entlang der neun Anforderungen begründet. Außerdem wird der verbleibende Handlungsbedarf beschrieben.

A1) Bereitstellung eines Referenzmodells für die strategische Planung neuer Produktgenerationen: Keiner der Ansätze zur Betriebsdaten-gestützten Produktplanung und -entwicklung setzt auf einem Referenzmodell auf, das die strategische Planung neuer Produktgenerationen beschreibt. Wenig überraschend trifft dies auch für die dedizierten Ansätze zum Einsatz von Data Analytics zu. Ein anderes Bild ergibt sich bei den Ansätzen zur Produktgenerationsplanung. Zwar stellt kein Ansatz das geforderte Referenzmodell bereit, jedoch stellen insbesondere das Modell der SGE – Systemgenerationsentwicklung sowie das iPeM – Integriertes Produktentstehungsmodell nach ALBERS eine umfassende Basis für die Entwicklung eines solchen Modells dar. Die Ansätze von MARTHALER und FAHL zeigen darüber hinaus, wie konkrete Aufgaben der klassischen Produktentstehung in den Produktgenerationskontext überführt werden können. Aus ihnen können durch Abstraktion wertvolle Schlüsse für die Entwicklung des geforderten Referenzmodells gezogen werden. Die Impulse der weiteren Ansätze zur Produktgenerationsplanung sollen ebenfalls in der Entwicklung des Referenzmodells berücksichtigt werden.

A2) Bereitstellung eines Referenzprozesses für die Betriebsdaten-gestützte Produktplanung: Von den Ansätzen zur Betriebsdaten-gestützten Produktplanung und -entwicklung bietet keiner einen Referenzprozess. Einzig RIESENER ET AL. und WAGENMANN ET AL. zeigen auf, wie ein Vorgehen von der Planung bis zur Verwertung von Betriebsdaten-Analysen in der Produktentstehung aussehen kann. Drei dedizierte Referenzprozesse und ein Referenzmodell stehen unter den DA-Ansätzen bereit. Diese beinhalten jedoch erwartungsgemäß keine produktplanerischen Aspekte. Für die erforderlichen Prozessschritte nach der Datenanalyse, d. h. die Planung neuer Produktgenerationen, liefert das iPeM

nach ALBERS einige Impulse. Insgesamt wird jedoch festgehalten, dass ein neuer, dedizierter Referenzprozess für die Betriebsdaten-gestützte Produktplanung entwickelt werden muss. Dieser soll die DA-Referenzprozesse als Ausgangspunkt nehmen und sie um Prozessschritte der Produktgenerationsplanung ergänzen.

A3) Ermittlung relevanter Untersuchungsbedarfe: Diese Anforderung wird von zahlreichen Ansätzen zur Betriebsdaten-gestützten Produktplanung und -entwicklung adressiert. Dabei zeigen sich sehr unterschiedliche Vorgehensweisen. RIESENER ET AL. betrachten z. B. die Gesamtanlageneffektivität, WILBERG sucht in allen Unternehmensbereichen nach Anwendungsfeldern, KREUTZER identifiziert Stakeholder-Nutzenpotentiale über den Produktlebenszyklus. Trotz dieser Vielfalt ist kein Ansatz dabei, bei dem die Untersuchungsbedarfe aus einer übergeordneten Vision oder Strategie abgeleitet werden und damit die höchste Relevanz versprechen. Zur Modellierung von Produktvision und -strategie eignen sich die Produktprofile nach ALBERS ET AL. sowie das 3-Säulen-Modell nach GAUSEMEIER ET AL. aus den Ansätzen zur Produktgenerationsplanung. In der geplanten Systematik soll die Modellierung von Produktprofilen zur Ermittlung relevanter Untersuchungsbedarfe adaptiert werden.

A4) Ermittlung eines Stärken-Schwächen-Profiles für Betriebsdaten-Analysen: Stärken und Schwächen werden in zwei Ansätzen zur Betriebsdaten-gestützten Produktplanung und -entwicklung ermittelt. WILBERG nimmt eine sehr ausführliche Stärken-Schwächen-Analyse vor, die jedoch einen breiten Fokus hat. Relevante Aspekte werden entsprechend nicht in der erforderlichen Tiefe behandelt. HOFMANN ET AL. ermitteln Stärken und Schwächen mit dem TOE-Framework, dem ebenfalls die Fokussierung auf die Betriebsdaten-gestützte Produktplanung fehlt. Zur systematischen Beurteilung des DA-Reifegrads bieten DREMEL ET AL. eine umfassende Lösung. Derartige Reifegradmodelle bilden jedoch nur vereinzelte Aspekte der Betriebsdaten-gestützten Produktplanung ab und können daher nicht einfach genutzt werden. Eine Kombination der vorhandenen Ansätze erscheint nicht sinnvoll, da die Ansätze zu unterschiedlich und zu wenig auf das eigentliche Forschungsfeld fokussiert sind. Vor dem Hintergrund dieser Betrachtungen wird es im Rahmen der vorliegenden Arbeit erforderlich sein, eine geeignete Lösung zur Ermittlung eines Stärken-Schwächen-Profiles für die Durchführung von Betriebsdaten-Analysen zu entwickeln.

A5) Definition Erfolg versprechender, realistischer Use Cases: Von den Ansätzen zur Betriebsdaten-gestützten Produktplanung und -entwicklung umfassen sechs explizit eine Use-Case-Definition. WILBERG definiert Use-Case-Gegenstände, erforderliche Daten und Analytics-Ansätze. HOFMANN ET AL. führen Probleme und Analytics-Lösungen zusammen. KREUTZER kombiniert Nutzenaspekte und Daten. DENG und THOBEN leiten Daten aus einem Kontextmodell ab. VOET ET AL. bauen zu analysierende Nutzungsprofile auf und WAGENMANN ET AL. lassen initiale Analyse-Objekte von Technologie-Experten zu Use Cases ausarbeiten. Konkrete Fragen und Rahmenbedingungen der Use Cases werden jedoch in keinem Ansatz behandelt. Von den Ansätzen zum Einsatz von Data Analytics liefern CRISP-DM sowie Blatt 1 der VDI/VDE-Richtlinie 3714 relevante Hinweise

auf Aspekte, die es bei der Konkretisierung von Use Cases zu berücksichtigen gilt, z. B. Grundannahmen und Restriktionen. Bis auf die Ableitung relevanter Fragen stellt der Stand der Forschung somit bereits Lösungen für diese Anforderung bereit. Die Systematik soll daher auf diesen Vorarbeiten aufbauen, sie gezielt kombinieren und um eine Lösung zur Ableitung von Fragen erweitern.

A6) Bereitstellung von Gestaltungswissen für die Use-Case-Definition: Diese Anforderung wird von zwei Ansätzen teilweise erfüllt. WILBERG stellt einen Use-Case-Katalog mit mehr als 200 Use Cases für die Nutzung von Betriebsdaten in produzierenden Unternehmen vor. KREUTZER präsentiert 21 Use Cases zur Nutzung von Felddaten ebenfalls in produzierenden Unternehmen. Aufgrund ihres deutlich größeren Suchradius enthalten beide Lösungen zahlreiche Use Cases, die nichts mit der Betriebsdaten-gestützten Produktplanung und -entwicklung zu tun haben, sondern z. B. in der Betriebsphase eines Produkts zu verorten sind und damit Smart Services repräsentieren. Die Use Cases, die in der Produktplanung und -entwicklung verortet werden, werden nicht ausführlich genug beschrieben, um diese Anforderung vollständig zu erfüllen. So werden bei beiden Lösungen keine exemplarischen Fragen genannt. Da diese Hinweise jedoch eine hohe Relevanz zur Befähigung von Produktmanagern in der Praxis besitzen (Abschnitt 2.4.3.2), besteht Handlungsbedarf zur Entwicklung dedizierter Use Cases für die Betriebsdaten-gestützte Produktplanung. Zur Verknüpfung dieser mit den erforderlichen Daten ist zu prüfen, ob KREUTZERS Felddaten-Beschreibungsmodell genutzt werden kann oder ob ein neues dediziertes Modell entwickelt werden muss.

A7) Gewährleistung einer umfassenden Interpretation der Datenanalyse-Ergebnisse: Die Interpretation der Datenanalyse-Ergebnisse wird lediglich von RIESENER ET AL. als einzigem Ansatz zur Betriebsdaten-gestützten Produktplanung angeschnitten. Die Autoren führen eine implizite Interpretation durch, indem sie die zuvor identifizierten Hypothesen als Ursache-Wirkungs-Kette modellieren und sie anschließend auf die funktionale und physische Produktarchitektur projizieren. Von den Ansätzen zum Einsatz von Data Analytics geben auch nur CRISP-DM und Blatt 1 der VDI/VDE-Richtlinie 3714 einige Hinweise, die es während der Interpretation zu beachten gilt. Das Analytics-Canvas nach KÜHN ET AL. könnte nützlich sein, um in einem interdisziplinären Team eine gemeinsame Perspektive auf die Durchführung von Betriebsdaten-Analysen zu erhalten. Kein Ansatz stellt jedoch dar, wie eine umfassende Interpretation der Datenanalyse-Ergebnisse gewährleistet werden kann. Infolgedessen soll im Rahmen der Systematik eine Lösung entwickelt werden, die die Anforderung vollständig erfüllt.

A8) Beschreibung der methodischen Planung neuer Produktgenerationen: Zwei Ansätze zur Betriebsdaten-gestützten Produktplanung und -entwicklung erfüllen diese Anforderung teilweise. DIENST sowie RIESENER ET AL. zeigen jeweils Schritte auf, wie ein Produkt vor dem Hintergrund identifizierter Verbesserungspotentiale optimiert werden kann. Dies entspricht jedoch noch keiner methodischen Planung einer neuen Produktgeneration, sondern vielmehr einer gezielten, aber isolierten Verbesserung. Die Ansätze zur Produktgenerationsplanung verschaffen hier Abhilfe, auch wenn kein einzelner Ansatz

die Anforderung vollständig erfüllt und ein direkt nutzbares Vorgehen aufzeigt. Strukturgebenden Charakter besitzen dabei das Modell der SGE – Systemgenerationsentwicklung sowie das iPeM – Integriertes Produktentstehungsmodell nach ALBERS. Die weiteren Ansätze liefern jeweils mögliche methodische Bausteine, z. B. MARTHALER mit der systematischen Ableitung einer generationsübergreifenden Entwicklungs-Roadmap oder FAHL mit der Definition des funktionsspezifischen Zielsystems. Die zu entwickelnde Systematik soll diese Impulse aufgreifen, adaptieren und zu einem konsistenten methodischen Vorgehen verknüpfen.

A9) Verknüpfung der Datenanalyse-Ergebnisse mit dem Produktplanungsprozess:

Diese Anforderung wird von den konkurrierenden Ansätzen ebenfalls nur von DIENST sowie RIESENER ET AL. teilweise erfüllt. DIENST nutzt die Daten im Produktentwicklungsprozess erneut, um die Eignung von Lösungsalternativen zu bewerten, die zuvor in Produktkatalogen von Lieferanten ermittelt worden sind. RIESENER ET AL. greifen die Daten zur Validierung der neu ermittelten Anforderungen nach deren Implementierung erneut auf. Da beide Vorgehensweisen eher für die Produktentwicklung als die -planung geeignet sind, sollen sie nicht adaptiert werden. Vereinzelte Hinweise auf Verknüpfungsmöglichkeiten liefern die Referenzprozesse CRISP-DM, KDD und die VDI/VDE-Richtlinie 3714 Blatt 1, z. B. hinsichtlich der Dokumentation des Prozesses und der Ergebnisse. Vor diesem Hintergrund sollen neue Möglichkeiten zur Verknüpfung der Datenanalyse-Ergebnisse mit dem Produktplanungsprozess im Rahmen der Systematik aufgezeigt werden.

Bewertung der untersuchten Ansätze hinsichtlich der gestellten Anforderungen. Fragestellung: Wie gut erfüllen die untersuchten Ansätze (Zeile) die gestellten Anforderungen an eine Systematik zur Planung und Verwertung von Betriebsdaten-Analysen in der strategischen Produktplanung (Spalte)? Bewertungsskala:  = nicht erfüllt  = teilweise erfüllt  = vollständig erfüllt Abkürzungen: PE Produktentwicklung PG Produktgeneration PP Produktplanung SP Strategische Planung		Anforderungen (A)								
		Integrat-ion		Planung				Verwertung		
		Bereitst. Referenzmodell für SP neuer Prod.-Gen.	Bereitstellung eines Referenzprozesses	Ermittlung relevanter Untersuchungsbedarfe	Ermittlung eines Stärken-Schwächen-Profiles	Definition Erfolg versprechender, real. Use Cases	Gestaltungswissen für die Use Case-Definition	Gewährl. Interpretation der Datenanalyse-Ergebnisse	Beschreibung der method. Planung neuer Prod.-Gen.	Verknüpf. der Analyse-Ergebnisse mit PP-Prozess
		A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9
Betriebsdaten-gestützte Produktplanung und -entwicklung	Analyse von Daten zur Entscheidungsunterstützung bei der Produktverbesserung nach DIENST									
	Anforderungserhebung durch explorative Betriebsdaten-Analysen nach RIESENER ET AL.									
	Entwicklung einer Betriebsdaten-Strategie nach WILBERG									
	Entwicklung von KI-Use-Cases nach HOFMANN ET AL.									
	Bestimmung der Nutzenpotentiale von Felddaten cyber-physischer Systeme nach KREUTZER									
	Kontextbez. Bereitstellung von Produktnutzungs-Informationen in der PE nach DENG und THOBEN									
	Sammlung und Analyse von Betriebsdaten für die kontin. Produktverbesserung nach VOET ET AL.									
	Datengetr. Analyse der Funktionsnutzung zur Reduktion von Produktvar. nach WAGENMANN ET AL.									
Data Analytics	Cross Industry Standard Process for Data Mining (CRISP-DM) nach CHAPMAN ET AL.									
	Knowledge Discovery in Databases (KDD) Process nach FAYYAD ET AL.									
	VDI/VDE 3714 Blatt 1: Durchführung von Big-Data-Projekten									
	Referenzmodell für wissensgetriebene Datenbereitstellungsprozesse nach WANG ET AL.									
	Analytics-Schichtenmodell und -Canvas nach KÜHN ET AL.									
	Reifegradmodell für Big Data Analytics nach DRE-MEL ET AL.									
Produktgenerationsplanung	Modell der SGE – Systemgenerationsentwicklung nach ALBERS									
	iPeM – Integriertes Produktentstehungsmodell im Kontext der PGE nach ALBERS									
	Modellierung von Produktprofilen nach ALBERS ET AL.									
	3-Säulen-Modell der Produktstrategie nach GAUSE-MEIER ET AL.									
	Release-Planung intelligenter technischer Systeme nach KÜHN									
	Modellgestützte Produktfindung in der Produktgenerationenplanung nach ALBERS									
	Ableitung von generationsüberg. Zielsystemen zukünftiger Produktgenerationen nach MARTHALER									
	Produktportfolio-übergreifendes Spezifizieren von Produktfunktionen nach FAHL									

Bild 3-27: Bewertung des untersuchten Stands der Forschung

4 Vorstellung der Systematik

“Knowledge is only potential power. It becomes power only when, and if, it is organized into definite plans of action, and directed to a definite end.” – NAPOLEON HILL [Hil07]

Dieses Kapitel beschreibt die Systematik zur Planung und Verwertung von Betriebsdaten-Analysen in der strategischen Produktplanung. In Abschnitt 4.1 wird ein Überblick über die Systematik gegeben. Abschnitt 4.2 stellt ein Referenzmodell für die strategische Planung neuer Produktgenerationen vor. In Abschnitt 4.3 wird ein Referenzprozess für die Betriebsdaten-gestützte Produktplanung beschrieben. In den Abschnitten 4.4 und 4.5 werden zwei Methoden vorgestellt: eine zur Planung von Betriebsdaten-Analysen in der strategischen Produktplanung und eine zu deren Verwertung. Zum Abschluss gibt Abschnitt 4.6 die Ergebnisse der Unterstützungsevaluation wieder.

4.1 Überblick über die Systematik

Die Systematik besteht aus vier Elementen: (1) einem Referenzmodell für die strategische Planung neuer Produktgenerationen, (2) einem Referenzprozess für die Betriebsdaten-gestützte Produktplanung, (3) einer Methode zur Planung von Betriebsdaten-Analysen in der strategischen Produktplanung und (4) einer Methode zur Verwertung von Betriebsdaten-Analysen in der strategischen Produktplanung. Die Elemente werden nachfolgend kurz vorgestellt. Bild 4-1 gibt einen Überblick über die Systematik.

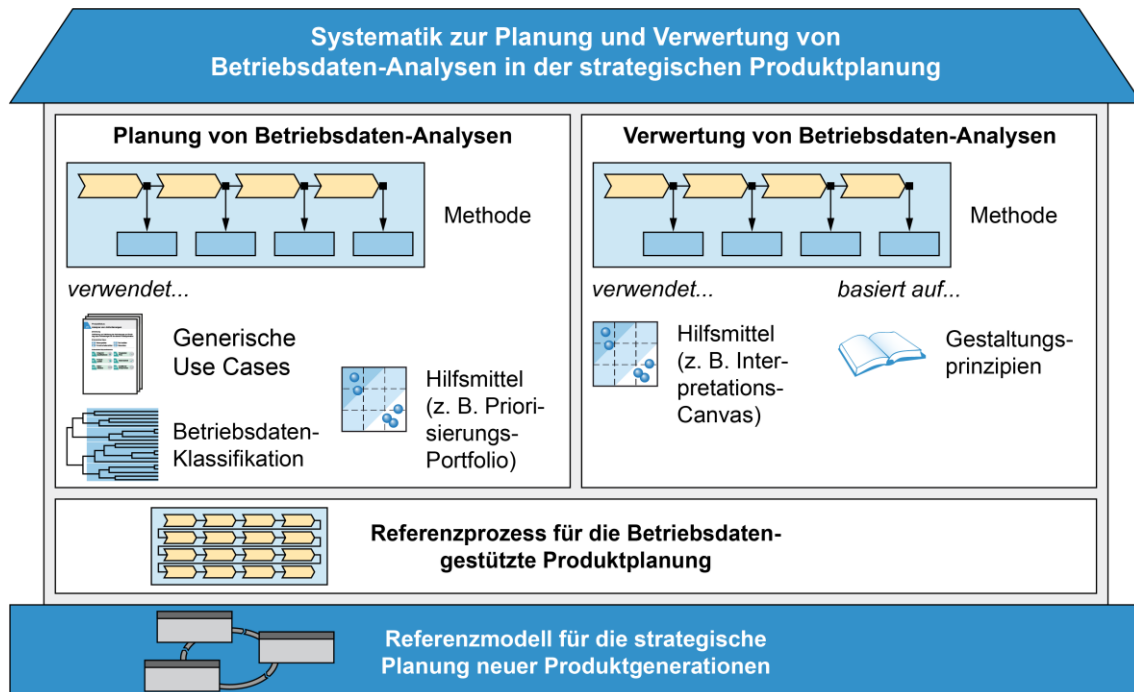


Bild 4-1: Überblick über die Systematik

- (1) **Referenzmodell für die strategische Planung neuer Produktgenerationen** (Abschnitt 4.2): Das Referenzmodell zeigt die Hauptaufgaben der strategischen Planung neuer Produktgenerationen sowie deren initiales Zusammenwirken auf. Es baut auf dem in Abschnitt 2.3.4 vorgestellten Zyklus der strategischen Produktplanung auf und überführt diesen in den Kontext der Produktgenerationsplanung. Damit bildet das Referenzmodell die konzeptionelle Basis für die Nutzung von Betriebsdaten-Analysen in der strategischen Produktplanung und einen Ankerpunkt für die weiteren Elemente der Systematik.
- (2) **Referenzprozess für die Betriebsdaten-gestützte Produktplanung** (Abschnitt 4.3): Der Referenzprozess gibt an, wie Betriebsdaten-Analysen in der strategischen Produktplanung eingesetzt werden können. Er setzt auf dem zuvor eingeführten Referenzmodell für die strategische Planung neuer Produktgenerationen auf und verankert den Einsatz von Betriebsdaten-Analysen im Referenzmodell.
- (3) **Methode zur Planung von Betriebsdaten-Analysen in der strategischen Produktplanung** (Abschnitt 4.4): Diese Methode beschreibt ausführlich, wie Betriebsdaten-Analysen in der strategischen Produktplanung systematisch und erfolgreich geplant werden können. Ergebnis der Methode sind Erfolg versprechende und relevante Use Cases, zu denen im Anschluss Betriebsdaten-Analysen durchgeführt werden sollen. Die Methode konkretisiert damit den ersten Hauptprozess des zuvor eingeführten Referenzprozesses. Sie verwendet Gestaltungswissen in Form generischer Use Cases und einer Betriebsdaten-Klassifikation sowie Hilfsmittel wie ein Priorisierungs-Portfolio.
- (4) **Methode zur Verwertung von Betriebsdaten-Analysen in der strategischen Produktplanung** (Abschnitt 4.5): Diese Methode stellt detailliert dar, wie Betriebsdaten-Analysen systematisch in der strategischen Produktplanung verwertet werden können. Sie resultiert in einer überarbeiteten Produktstrategie, die unter anderem beschreibt, welche Ziele mit welchen Ideen in welcher der nächsten geplanten Produktgeneration erreicht werden sollen. Damit konkretisiert die Methode den vierten Hauptprozess des Referenzprozesses für die Betriebsdaten-gestützte Produktplanung. Sie basiert auf im Rahmen der Arbeit entwickelten Gestaltungsprinzipien und verwendet Hilfsmittel wie ein Interpretations-Canvas.

4.2 Referenzmodell für die strategische Planung neuer Produktgenerationen

Die Ausführung der Problemanalyse in Abschnitt 2.3.4 und Abschnitt 2.4.2 belegen den Bedarf für ein Referenzmodell für die strategische Planung neuer Produktgenerationen. Im Folgenden wird ein solches Referenzmodell entwickelt. Abschnitt 4.2.1 beschreibt dabei zunächst das Forschungsdesign. Anschließend werden die erzielten Ergebnisse und das daraus abgeleitete Referenzmodell in Abschnitt 4.2.2 vorgestellt. Das Referenzmodell wurde bereits in [MKD24] dokumentiert.

4.2.1 Forschungsdesign

Das **Vorgehen** zur Entwicklung eines Referenzmodells für die strategische Planung neuer Produktgenerationen orientiert sich an der **Grounded-Theory-Methodologie**. Diese wurde in den 1960er-Jahren von GLASER und STRAUSS im Bereich der Sozialwissenschaften entwickelt, um die systematische induktive Ableitung neuer Theorien aus empirischen Daten zu ermöglichen. Dies stand dem gängigen Forschungsprozess – von der deduktiv hergeleiteten Forschungshypothese zu deren Prüfung – entgegen [GSS68], [GS80], [Gla99, S. 836], [Lue09, S. 191f.]. Der Name *Grounded Theory* beschreibt primär einen induktiven Forschungsprozess und die darin verwendeten Methoden zur Datenerhebung und -analyse, aber auch das Ergebnis dieses Prozesses: eine empirisch fundierte Theorie (engl. Grounded Theory) [TPC15, S. 406]. Seit ihrer Entwicklung wurde die Grounded Theory sukzessive auch in weiteren Wissenschaftsbereichen wie den Gesundheits- oder den Wirtschaftswissenschaften eingesetzt [Gla99, S. 837].

Die Grounded Theory eignet sich zur Analyse **jeglicher Arten von Daten und beliebigen Kombinationen von Datenarten** [Gla99, S. 842]. Dazu zählen z. B. qualitative Interviews, Feldbeobachtungen, informelle Konversationen, Fokusgruppen, Dokumente, Fragebögen und Tagebücher [TPC15, S. 407]. Zur Entwicklung des Referenzmodells wurden umfangreiche Daten analysiert: insgesamt 15 Transkripte der zwei Interviewstudien mit 16 Führungskräften produzierender Unternehmen (Abschnitt 2.4.1.2) sowie vier Protokolle von Monitoring-Terminen im Forschungsprojekt ZuPro – Zukunftsrobuste Produktentwicklung. Letztere Termine umfassten eine regelmäßige Diskussion der Projektergebnisse. Sie dauerten jeweils zwischen ein und zwei Stunden und fanden über einen Zeitraum von eineinhalb Jahren statt. Neben vier wissenschaftlichen Mitarbeitern nahmen zwei Professoren und zwei Oberingenieure mit langjähriger Erfahrung im Forschungsfeld der Produktentstehung an den Terminen teil.

Für die **Analyse der empirischen Daten durch Codierung** gibt es mehrere alternative Methoden. Zur Entwicklung des Referenzmodells wurde dem weit verbreiteten Vorschlag von CORBIN und STRAUSS gefolgt, die mit dem *offenen*, *axialen* und *selektiven* Codieren drei aufeinander aufbauende Codierungsarten unterscheiden [CS90, S. 12ff.]. Das offene Codieren beschreibt die initiale induktive Generierung von konzeptionellen Codes aus den Daten, indem z. B. ähnliche Aussagen mehrerer Interviewpartner zu einem Konzept zusammengefasst werden. Dabei können schon erste Kategorien und Sub-Kategorien entstehen. Beim axialen Codieren werden die zuvor entstandenen Codes, Kategorien und Sub-Kategorien miteinander verknüpft und weiterentwickelt. Beispielsweise werden ein Phänomen und seine Ursachen miteinander in Beziehung gesetzt. Unvollständige oder inkonsistente Kategorien zeigen weiteren Forschungsbedarf auf. Das selektive Codieren integriert die bisherigen Kategorien, indem sie unter einer Schlüsselkategorie organisiert werden [CS90, S. 12ff.], [Lue09, S. 198f.]. Die Schlüsselkategorie beschreibt das zentrale Phänomen, das in der Studie beobachtet wurde [CS90, S. 14].

Zur **Steigerung der Robustheit der entwickelten Theorie** wechseln sich Datenerhebung und -analyse während der Theorieentwicklung regelmäßig ab [CS90, S. 8f.], [Lue09, S. 196f.]. So werden auf Basis vorläufiger Datenanalyse-Ergebnisse neue Schwerpunkte für weitere Datenerhebungen identifiziert, um Lücken oder Inkonsistenzen in der Theorie zu adressieren. Dies wird als *Theoretical Sampling* bezeichnet. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurde dies sowohl während der einzelnen Studien (z. B. durch Anpassung des Interviewleitfadens zwischen zwei Interviews) als auch zwischen den Studien (z. B. durch eine neue Perspektive auf das Thema in der Folgestudie) angewendet.

Als Ergebnis dieses Vorgehens entstand eine Theorie zur strategischen Planung neuer Produktgenerationen. Vor ihrem Hintergrund wurde der Zyklus der strategischen Produktplanung des in Abschnitt 2.3.4 vorgestellten Referenzmodells überarbeitet, sodass dieser ein Referenzmodell für die strategische Planung neuer Produktgenerationen repräsentiert. Die Theorie und das Referenzmodell werden im folgenden Abschnitt vorgestellt.

4.2.2 Ergebnis

Aus der Analyse der empirischen Daten aus den Manuskripten der Interviewstudie und den Protokollen der Monitoring-Termine ergeben sich drei wesentliche Kategorien, die **Theorie-Bausteine** zur strategischen Planung neuer Produktgenerationen darstellen [MKD24]:

- (1) **Es entstehen kontinuierlich Verbesserungspotentiale für neue Produktgenerationen.** Zum einen folgt dies aus der steten Veränderung des globalen Umfelds des Produkts, z. B. in Form neuer Technologien, Mega-Trends oder Wettbewerbssituationen. Diese Potentialquellen sind bereits in zahlreichen Modellen und Methoden der Produktentstehung berücksichtigt. Zum anderen liefern aber auch die Vorgänger-Generationen, die sich im Betrieb befinden oder befanden, spezifische Verbesserungspotentiale. Diese können z. B. in Form von Kunden-Rückmeldungen, Service-Techniker-Berichten oder Aktor- und Sensordaten vorliegen. Für die strategische Produktplanung gilt es, all diese Impulse zu erfassen und sinnvoll zu kombinieren, um den Erfolg der neuen Produktgenerationen nicht zu gefährden [MKD24].
- (2) **Die Planung neuer Produktgenerationen baut auf den Planungsprozessen der Vorgängergenerationen auf.** Die strategische Produktplanung beginnt nicht bei jeder neuen Produktgeneration gänzlich von vorne; vielmehr wird bewusst und aktiv das Ziel-, Handlungs- und Objektsystem vergangener Produktplanungsprozesse genutzt. Deren Elemente stellen Referenzen für das Ziel-, Handlungs- und Objektsystem der neuen Produktgenerationen dar. Zur Bildung des Zielsystems der neuen Produktgenerationen kann z. B. auf dem Produktprofil einer Vorgänger-Generation aufgebaut werden. Für das Handlungssystem kann beispielsweise die frühere Durchführung einer Kundenbefragung als Handlung eine Referenz darstellen. Bestehende Systemmodelle sind darüber hinaus ein Beispiel für eine

Referenz im Objektsystem. Sie können durch Übernahme-, Ausprägungs- und Prinzipvariationen in den aktuellen Planungsprozess einfließen. Neben den Referenzen aus vergangenen Produktplanungsprozessen werden außerdem neue Referenzen in das Referenzsystem aufgenommen [MKD24].

- (3) **Neue Produktgenerationen werden durch gezielte, sukzessive Variationen der Eigenschaften der Vorgänger-Generationen geplant.** Die Festlegung der Variationsanteile kommt dabei einer Gratwanderung gleich. Denn zunächst wird aus Gründen der Risikoverminderung versucht, den Neuentwicklungsanteil möglichst gering zu halten. Gleichzeitig müssen neue Produktgenerationen jedoch auch als solche am Markt wahrgenommen werden und für eine Begeisterung sorgen, die Kunden zu einem Kauf animiert. Diese Begeisterung entsteht durch zusätzlichen Kunden- und Anwendernutzen. Neben diesen ist selbstverständlich der Anbieternutzen nicht zu vernachlässigen. Weiter eingeschränkt werden die Freiheitsgrade der strategischen Produktplanung außerdem durch Ziele und Rahmenbedingungen zur Markteinführung, z. B. hinsichtlich der Frequenz, in der neue Produktgenerationen auf dem Markt eingeführt werden sollen. Die geplanten Variationen werden deshalb gezielt auf mehrere neue Produktgenerationen verteilt, um für jede neue Produktgeneration ein ausgeglichenes Maß an Entwicklungsrisiko sowie Kunden-, Anbieter- und Anwendernutzen zu erhalten [MKD24].

Die Integration dieser drei Kategorien bzw. Theorie-Bausteine zu einer Schlüsselkategorie bzw. Theorie resultiert in der folgenden **Theorie zur strategischen Planung neuer Produktgenerationen** [MKD24]:

Die Planung neuer Produktgenerationen baut auf den Ziel-, Handlungs- und Objektsystemen der Planungsprozesse der Vorgänger-Generationen auf und variiert diese Referenzen unter Einbezug neuer interner und externer Referenzen gezielt und sukzessive, um auf kontinuierlich neu entstehende Verbesserungspotentiale sowie veränderte Ziele und Rahmenbedingungen zu reagieren.

Aufbauend auf dieser Theorie wird das Referenzmodell für die strategische Planung neuer Produktgenerationen entwickelt. Dessen Ausgangspunkt ist der erste Zyklus des Referenzmodells der strategischen Planung und integrativen Entwicklung von Marktleistungen nach GAUSEMEIER, das in Abschnitt 2.3.4 vorgestellt wurde. Vor dem Hintergrund der entwickelten Theorie stellt sich dieser Zyklus für die strategische Planung neuer Produktgenerationen wie in Bild 4-2 dar. Nachfolgend werden die drei Hauptaufgaben beschrieben.

Die erste Hauptaufgabe ist weiterhin die **Potentialfindung**. Sie umfasst die Identifizierung von Verbesserungspotentialen für die neuen Produktgenerationen. Diese setzen sich aus spezifischen Verbesserungspotentialen der Vorgänger-Generationen und neuen Erfolgspotentialen zusammen, die sich in Folge der Veränderungen des globalen Umfelds

ergeben. In der Potentialfindung müssen beide Perspektiven betrachtet und adäquat miteinander kombiniert werden. Genutzt werden die identifizierten Verbesserungspotentiale zur Bildung eines visionären Zielsystems, das auf den Zielsystemen der Vorgänger-Generationen basiert, z. B. den Produktprofilen. Die im visionären Zielsystem festgehaltenen Ziele sind noch keiner konkreten neuen Produktgeneration zugeordnet [MKD24].

Die zweite Hauptaufgabe wird von der Produktfindung zur **Ideenfindung**. Da das grundsätzlich zu planende Produkt durch die Vorgänger-Generationen bereits bekannt ist, werden keine Ideen für gänzlich neue Produkte gesucht, sondern vielmehr Ideen für neue Produktgenerationen. Dies geschieht vor dem Hintergrund der identifizierten Verbesserungspotentiale und des daraus abgeleiteten visionären Zielsystems. Basis für die Identifizierung neuer Ideen ist ein aktualisiertes Referenzsystem, in dem z. B. Produkte aus anderen Branchen inkludiert sind, welche die identifizierten Verbesserungspotentiale bereits in einem anderen Kontext erschließen. Unter Einsatz von Kreativitätstechniken werden Ideen für neue Produktgenerationen erarbeitet [MKD24].

Die **Geschäftsplanung** bleibt als dritte Hauptaufgabe bestehen. Hier werden die identifizierten Verbesserungspotentiale und Ideen im Rahmen der Produktstrategie-Überarbeitung neuen Produktgenerationen und Releases zugeordnet. Dabei wird für jede geplante Produktgeneration auch ihr jeweiliges Zielsystem festgelegt, z. B. in Form des Produktprofils. Die aufeinanderfolgenden Zielsysteme nähern sich so sukzessive dem visionären Zielsystem an. Die Ziele und Ideen, mit denen Kunden-, Anbieter- und Anwendernutzen hervorgerufen und neue Generationen definiert und legitimiert werden sollen, werden damit auf aufeinanderfolgende Produktgenerationen verteilt. Dies gilt ebenso für das Risiko, das mit der Entwicklung der neuen Generationen einhergeht. In Abhängigkeit dieser Pläne werden die Geschäftsmodelle und Geschäftspläne sowohl für die Produktfamilie als Ganzes als auch die einzelnen Varianten gezielt und sukzessive weiterentwickelt. Dies geschieht in enger Abstimmung mit der Produktkonzipierung [MKD24].

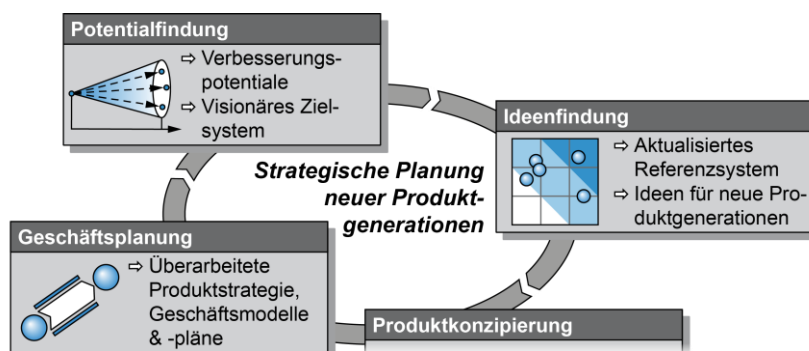


Bild 4-2: Referenzmodell für die strategische Planung neuer Produktgenerationen mit angedeuteter Verbindung zur Produktkonzipierung [MKD24]

4.3 Referenzprozess für die Betriebsdaten-gestützte Produktplanung

Eine wesentliche Erkenntnis der Problemanalyse ist, dass produzierende Unternehmen einen Referenzprozess für die Betriebsdaten-gestützte Produktplanung benötigen (Abschnitt 2.4.2.3 und Abschnitt 2.5). Die Untersuchung des Stands der Forschung hat daraufhin gezeigt, dass es noch keinen geeigneten Referenzprozess gibt und die Entwicklung eines dedizierten Referenzprozesses notwendig ist (Abschnitt 3.4). In Abschnitt 4.3.1 wird daher das Forschungsdesign zur Entwicklung des Referenzprozesses beschrieben. Der resultierende Referenzprozess wird in Abschnitt 4.3.2 vorgestellt. Er wurde in [MWP+22] und [MPW+23c] vorab veröffentlicht.

4.3.1 Forschungsdesign

Es gibt zahlreiche Ansätze zur Entwicklung von Referenzprozessen. Für die Entwicklung des Referenzprozesses für die Betriebsdaten-gestützte Produktplanung wird es als wichtig erachtet, dass der Referenzprozess empirisch fundiert und in der Praxis validiert ist. Außerdem soll er auf den vorhandenen Referenzprozessen zum Einsatz von Data Analytics aufbauen (Abschnitt 3.4).

Um diese Anforderungen zu erfüllen, wurden mehrere bestehende Ansätze zur Entwicklung von Referenzprozessen zu einem umfassenden Vorgehen kombiniert. Die Basis stellte das *Prozessmodell für eine empirisch fundierte Referenzmodell-Konstruktion* nach AHLEMANN und GASTL dar [AG07, S. 81f.]. Dieses betont insbesondere die empirische Datenerhebung durch die Befragung von Domänenexperten, um das Problemverständnis zu vertiefen und die theoretische Eignung einer initialen Version des Referenzprozesses zu überprüfen. Da es jedoch nicht beschreibt, wie der zu entwickelnde Referenzprozess auf bestehenden Referenzprozessen verwandter Domänen aufbauen kann, wurde zusätzlich das Vorgehen von FRANK ET AL. berücksichtigt [FGH+20, S. 4]. Außerdem wurden die *Gestaltungsprinzipien für die Referenzmodellierung* nach VOM BROCKE in die Referenzprozess-Entwicklung einbezogen, da diese ebenfalls die Wiederverwendung von Referenzmodellen und deren Bestandteilen unterstützen [vom07, S. 58ff.].

Aus diesen unterschiedlichen Ansätzen wurde ein vierphasiges Vorgehen entwickelt, das in Bild 4-3 dargestellt ist und im Anschluss beschrieben wird.

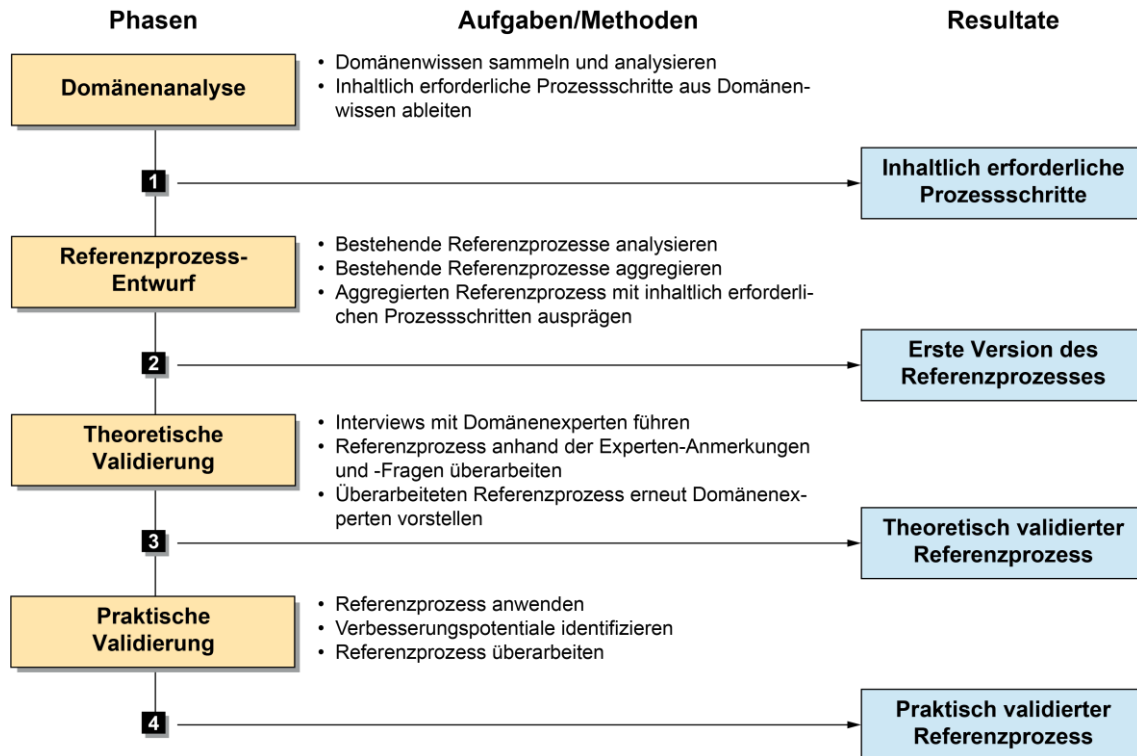


Bild 4-3: Gewähltes Vorgehen zur Entwicklung eines Referenzprozesses zur Betriebsdaten-gestützten Produktplanung, weiterentwickelt nach MEYER ET AL. [MWP+22, S. 6106]

- (1) **Domänenanalyse:** In der ersten Phase wurde Domänenwissen zur Betriebsdaten-gestützten Produktplanung gesammelt und analysiert [AG07, S. 86]. Dieses umfasste im Wesentlichen die literaturbasierten Inhalte aus Abschnitt 2.3.1 der Problemanalyse. Außerdem wurden die Ergebnisse der Interviewstudie zu den Potentialen und Herausforderungen der Betriebsdaten-gestützten Produktplanung (Abschnitt 2.4.1.2) verwertet. Aus dem Domänenwissen wurden anschließend inhaltlich erforderliche Prozessschritte abgeleitet [FGH+20, S. 5], z. B. die Definition von Use Cases oder die Interpretation der Datenanalyse-Ergebnisse.
- (2) **Referenzprozess-Entwurf:** In der zweiten Phase wurde eine erste Version des Referenzprozesses entworfen [AG07, S. 91]. Da es für den Einsatz von Data Analytics bereits mehrere etablierte Referenzprozesse gibt (vgl. Abschnitt 3.2), wurden diese zunächst analysiert. Es wurden detaillierte Prozessmodelle aufgestellt und miteinander verglichen, um Ähnlichkeiten und Unterschiede festzustellen. Danach wurden die Referenzprozesse zu einem umfassenden Referenzprozess aggregiert [FGH+20, S. 8f.], [vom07, S. 61ff.]. Abschließend wurde dieser auf die Betriebsdaten-gestützte Produktplanung ausgeprägt. Dies geschah, indem die inhaltlich erforderlichen Prozessschritte ergänzt wurden, sofern sie noch nicht enthalten waren. Außerdem wurden nicht benötigte Prozessschritte entfernt [FGH+20, S. 10f.], z. B. der Prozessschritt *Betrieb des Modells* aus der VDI/VDE-Richtlinie 3714 Blatt 1.

- (3) **Theoretische Validierung:** Gegenstand der dritten Phase war die theoretische Validierung mit Experteninterviews [AG07, S. 91f.]. Insgesamt wurden drei Interviews mit Domänenexperten geführt. Die Experten waren (1) Innovations- und Prozessberater mit sechs Jahren Berufserfahrung, (2) Digitalisierungsberater und selbstständiger Unternehmer mit 15 Jahren Berufserfahrung und (3) Leiter einer Data-Science-Abteilung mit 11 Jahren Berufserfahrung. Die Interviews dauerten zwischen 60 und 90 Minuten. In den Interviews wurde die erste Version des Referenzprozesses vor dem Hintergrund dreier Fragen diskutiert: *Ist der Referenzprozess vollständig oder fehlt irgendetwas? Sind die Haupt- und Subprozesse in einer logischen Reihenfolge strukturiert? Sind die Haupt- und Subprozesse eindeutig voneinander unterscheidbar?* Auf Basis der Anmerkungen und Fragen der Experten wurde der Referenzprozess im Anschluss an die Interviews überarbeitet [AG07, S. 92f.]. Die überarbeitete Version wurde den Experten noch einmal vorgestellt mit der erneuten Bitte um Verbesserungsvorschläge. Die Experten zeigten sich mit der überarbeiteten Version jedoch zufrieden, sodass der Referenzprozess als theoretisch validiert galt.
- (4) **Praktische Validierung:** Auf die theoretische folgte die praktische Validierung [AG07, S. 93]. Dafür wurde der Referenzprozess mit vier produzierenden Unternehmen anhand konkreter Beispiele durchlaufen. Währenddessen wurden Verbesserungspotentiale identifiziert, die anschließend zur Überarbeitung des Referenzprozesses genutzt wurden [AG07, S. 94], [FGH+20, S. 15]. Das Ergebnis dieser Phase und damit des Vorgehens ist der praktisch validierte Referenzprozess, der im nachfolgenden Abschnitt vorgestellt wird.

4.3.2 Ergebnis

Der entwickelte Referenzprozess zur Betriebsdaten-gestützten Produktplanung setzt sich aus vier Hauptprozessen zusammen: (1) Planung von Betriebsdaten-Analysen, (2) Vorbereitung von Betriebsdaten-Analysen, (3) Durchführung von Betriebsdaten-Analysen und (4) Verwertung von Betriebsdaten-Analysen in der strategischen Produktplanung. Jeder Hauptprozess besteht wiederum aus vier Subprozessen bzw. Phasen. Bild 4-4 stellt das Zusammenspiel der Hauptprozesse und Phasen dar. Die blau hinterlegten Hauptprozesse liegen dabei im Verantwortungsbereich des Produktexperten bzw. Produktmanagers, die grün hinterlegten in dem des Analytics-Experten bzw. Data Scientists (Abschnitt 2.3.3). Der Referenzprozess adressiert damit die Hauptaufgaben des in Abschnitt 4.2.2 vorgestellten Referenzmodells für die strategische Planung neuer Produktgenerationen. Er findet Anwendung, wenn ein Unternehmen im Rahmen dieses Planungsprozesses Unsicherheiten durch Betriebsdaten-Analysen überprüfen und reduzieren will. Im Folgenden werden die Hauptprozesse vorgestellt:

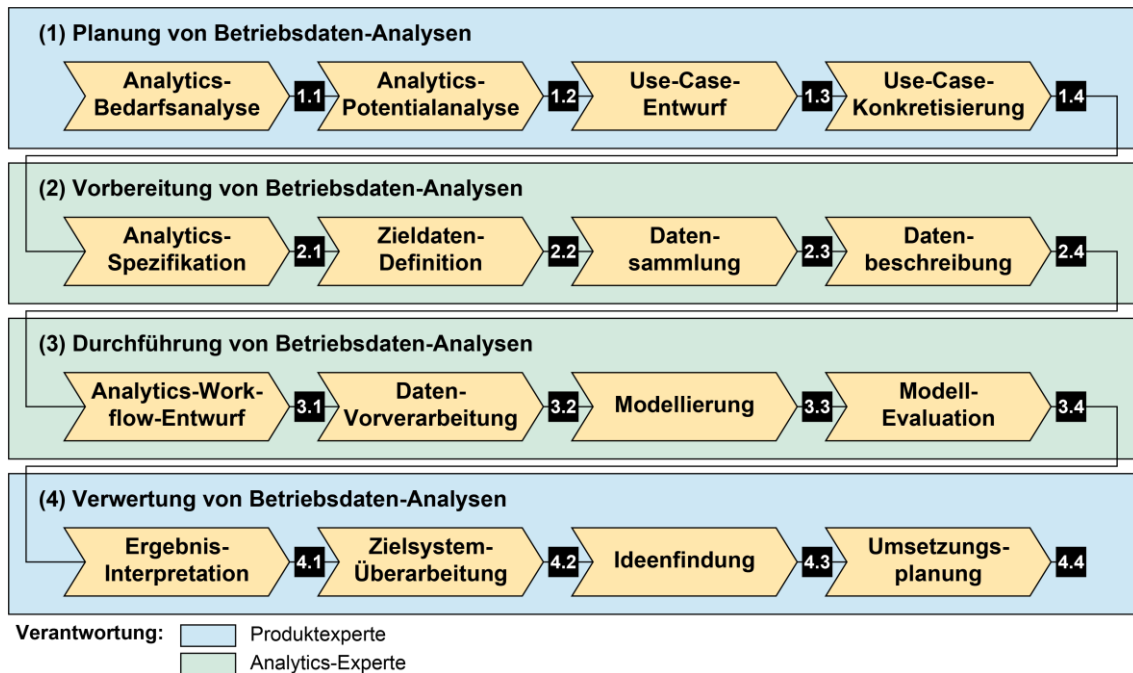


Bild 4-4: Referenzprozess für die Betriebsdaten-gestützten Produktplanung, weiterentwickelt nach MEYER ET AL. [MWP+22, S. 6110]

- (1) **Planung von Betriebsdaten-Analysen:** Der erste Hauptprozess dient der Definition Erfolg versprechender Use Cases für die Betriebsdaten-gestützte Produktplanung. Dafür wird zunächst eine Analytics-Bedarfsanalyse durchgeführt, in der relevante Untersuchungsbedarfe aus den Zielen der strategischen Produktplanung abgeleitet werden. Darauf folgt eine Analytics-Potentialanalyse. Mit dieser werden die Stärken und Schwächen des betrachteten Unternehmens in Bezug auf die Betriebsdaten-gestützte Produktplanung ermittelt. Auf Basis dieser beiden Analysen wird anschließend ein Use Case entworfen. Dafür werden Ziele und Rahmenbedingungen festgelegt. Abschließend wird dieser Use Case konkretisiert, indem Erkenntnisse versprechende Fragen erarbeitet und erforderliche Betriebsdaten definiert werden. Das Ergebnis ist ein umfassend beschriebener und relevanter Use Case, der an den Analytics-Experten übergeben wird.
- (2) **Vorbereitung von Betriebsdaten-Analysen:** Im zweiten Hauptprozess wird die Betriebsdaten-Analyse vorbereitet. In der ersten Phase des Hauptprozesses findet ein Übersetzungsprozess des Use Cases vom Produkt- in den Analytics-Kontext statt. Der Analytics-Experte spezifiziert dadurch seine Analyseziele in Form einer Analytics-Aufgabenstellung. In der anschließenden Phase werden die Zieldaten und ihre Quellen definiert. Die darauffolgende Datensammlung umfasst den Abgleich des Datenbedarfs mit den vorhandenen Daten im Unternehmen. Für Daten, die gar nicht oder nicht in der erforderlichen Qualität vorliegen, wird ein Datenakquise-Konzept entwickelt und implementiert. Sobald alle Daten vorhanden sind, folgt mit der Datenbeschreibung die letzte Phase des zweiten Hauptprozesses. In dieser werden erste explorative Analysen der Daten durchgeführt und die

Daten mit relevanten Metadaten beschrieben. Dadurch wird ein umfassendes Verständnis der Daten selbst und ihrer Verarbeitungsmöglichkeiten aufgebaut.

- (3) **Durchführung von Betriebsdaten-Analysen:** Der dritte Hauptprozess fokussiert die Durchführung der geplanten und vorbereiteten Betriebsdaten-Analyse. In der ersten Phase findet der Analytics-Workflow-Entwurf statt. In diesem werden Vorverarbeitungs- und Modellierungsmethoden ausgewählt und in Form von Analytics-Workflows kombiniert. Anschließend werden die Daten durch Säuberungs-, Transformations- und Feature-Engineering-Schritte vorverarbeitet. Im Rahmen der Modellierung werden das Modell des konzipierten Analytics-Workflows mit geeigneten Tools erstellt und die Betriebsdaten-Analyse durchgeführt. In der abschließenden Modell-Evaluation werden das Modell und die Ergebnisse der Datenanalyse anhand von Evaluationskriterien und -metriken bewertet. Anschließend werden die Modellergebnisse mit der besten Bewertung ausgewählt.
- (4) **Verwertung von Betriebsdaten-Analysen:** Im vierten und letzten Hauptprozess werden die Ergebnisse der Betriebsdaten-Analyse in der strategischen Produktplanung verwertet. Zunächst werden die Ergebnisse dafür umfangreich interpretiert. Dies entspricht der Überführung der Datenanalyse-Ergebnisse zurück in den Produktkontext. Anschließend findet die Zielsystem-Überarbeitung statt. Dabei wird das Zielsystem der geplanten neuen Produktgeneration vor dem Hintergrund der Betriebsdaten-Analyse aktualisiert. Auf die Überarbeitung des Zielsystems folgt die Ideenfindung. Hier werden Erfolg versprechende Ideen zur Realisierung des Zielsystems identifiziert und bewertet. Abschließend wird die Umsetzung der Ziele und Ideen geplant. Dies geschieht durch die Überarbeitung der Produktstrategie, mit der die verfolgte Produktvision Realität werden soll.

4.4 Methode zur Planung von Betriebsdaten-Analysen in der strategischen Produktplanung

Während der Referenzprozess grundsätzlich zeigt, wie Betriebsdaten-Analysen im Rahmen der strategischen Produktplanung eingesetzt werden können, benötigen Produktmanager für die von ihnen verantworteten Hauptprozesse zusätzliche methodische Unterstützung. Für die Planung von Betriebsdaten-Analysen in der strategischen Produktplanung wird daher in diesem Abschnitt eine Methode präsentiert. Bevor der Kern der Methode in Form eines Vorgehensmodells beschrieben wird, wird zunächst das darin verwendete Gestaltungswissen in Form generischer Use Cases (Abschnitt 4.4.1) und einer Betriebsdaten-Klassifikation (Abschnitt 4.4.2) vorgestellt. Das Vorgehensmodell folgt daraufhin in Abschnitt 4.4.3.

4.4.1 Generische Use Cases

Die Problemanalyse zeigt, dass Produktmanager in der Praxis Schwierigkeiten mit der Definition von Use Cases haben. Außerdem ist die Orientierung an Use-Case-Beispielen

ein Schlüsselfaktor für die erfolgreiche Planung von Betriebsdaten-Analysen in der strategischen Produktplanung (Abschnitt 2.4.3.3). Aus diesem Grund werden im Rahmen der Systematik generische Use Cases genutzt. Diese zeigen Anwendern die Potentiale der Betriebsdaten-gestützten Produktplanung auf und unterstützen sie bei ihren Planungsprozessen. In Abschnitt 4.4.1.1 wird zunächst das Forschungsdesign zur Identifizierung der Use Cases beschrieben. Anschließend werden die Use Cases in Abschnitt 4.4.1.2 vorgestellt. Diese wurden in [MPK+22] vorab veröffentlicht.

4.4.1.1 Forschungsdesign

Das Vorgehen zur Identifizierung generischer Use Cases basiert auf der Erkenntnis der Problemanalyse, dass Use Cases relevante Ziele der strategischen Produktplanung adressieren sollen (Abschnitt 2.4.3.3). Für generische Use Cases gilt damit, dass sie einen allgemeinen Beitrag zu den Zielen der strategischen Produktplanung versprechen müssen.

Einen zweckmäßigen Ansatzpunkt für diese Anforderung stellen die generischen Nutzelemente nach ALMQUIST ET AL. dar. Diese Elemente beschreiben, welchen Nutzen ein Produkt Kunden bieten kann. Gleichzeitig erklären sie, wieso Kunden ein Produkt kaufen und nutzen [ASB16, S. 48]. Strukturiert sind die Nutzelemente in Anlehnung an die Bedürfnispyramide nach MASLOW [ASB16, S. 48], [Mas43, S. 372ff.]. Dabei wird unterschieden zwischen einer Pyramide für Business-to-Business-Nutzelemente [ACS18, S. 76], [ACC18, S. 23] und einer für Business-to-Consumer-Nutzelemente [ASB16, S. 51], [ACC18, S. 21], welche jedoch zahlreiche gleiche Elemente aufweisen. Bild 4-5 zeigt die Pyramide der Nutzelemente im Business-to-Business-Kontext. Diese ist für die vorliegende Arbeit besonders relevant, da der Fokus der vorliegenden Arbeit weniger auf Consumer-Produkten liegt. Die Verbindung zu den Zielen der strategischen Produktplanung ist offensichtlich: Damit ein Produkt langfristig erfolgreich ist, müssen Produktmanager sicherstellen, dass es den Kunden ein attraktives Nutzenversprechen bietet. Dieses Nutzenversprechen kann wiederum mit Hilfe der Nutzelemente nach ALMQUIST ET AL. beschrieben werden. Gleichzeitig können Betriebsdaten-Analysen eingesetzt werden, um die Realisierung der Nutzelemente im Betrieb des Produkts zu untersuchen. Vor diesem Hintergrund wurde entschieden, generische Use Cases für die Untersuchung der Nutzelemente nach ALMQUIST ET AL. zu identifizieren.

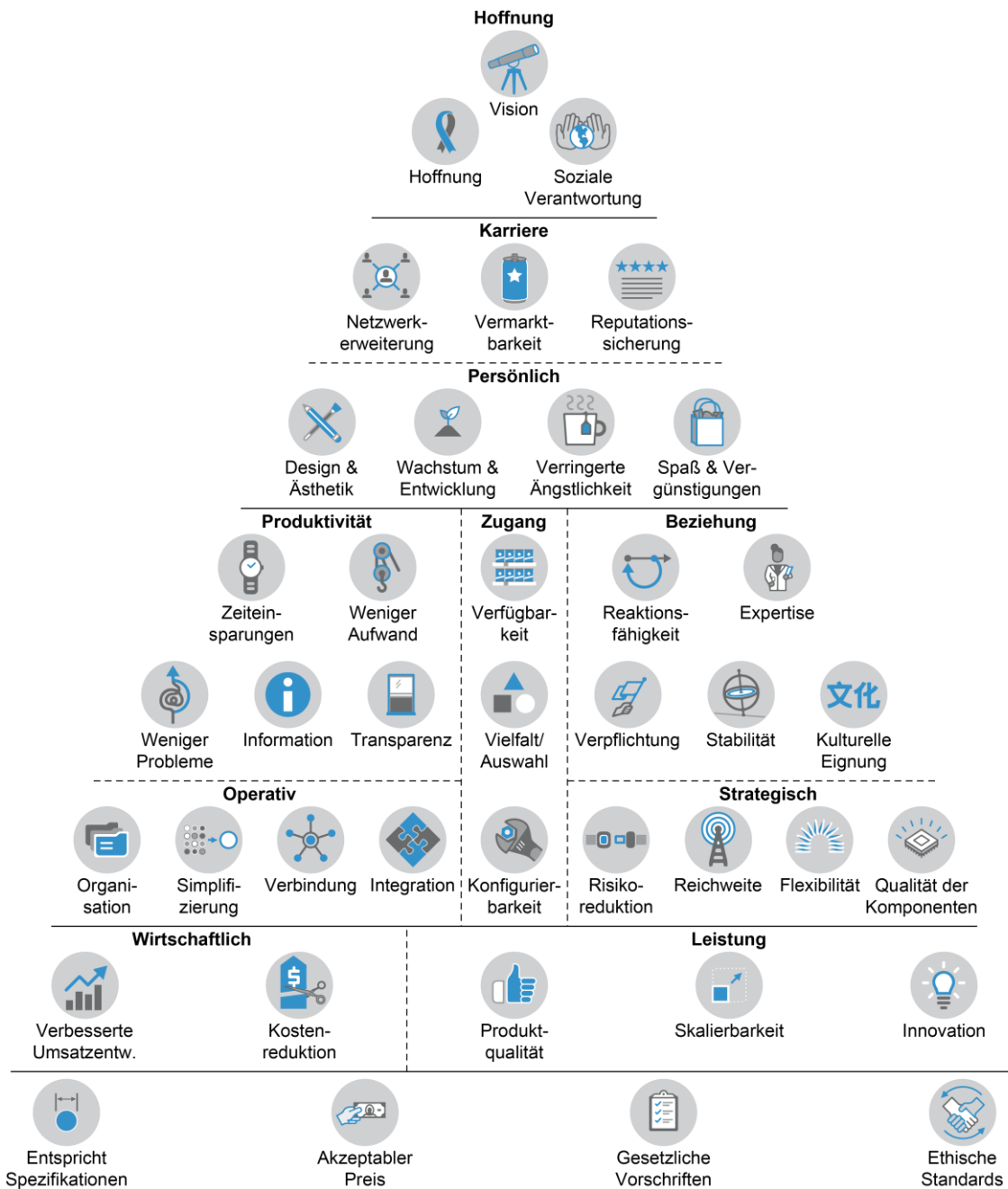


Bild 4-5: Pyramide der Nutzelemente im Business-to-Business-Kontext [ACS18, S. 76]

Das konkrete Vorgehen zur Identifizierung der generischen Use Cases setzt sich aus drei Phasen zusammen und ist in Bild 4-6 dargestellt. Im Folgenden werden die Phasen kurz erläutert¹⁸.

¹⁸ Tiefergehende Informationen zu einzelnen Aspekten des Forschungsvorgehens sind der entsprechenden Vorveröffentlichung zu entnehmen [MPK+22, S. 1054f.].

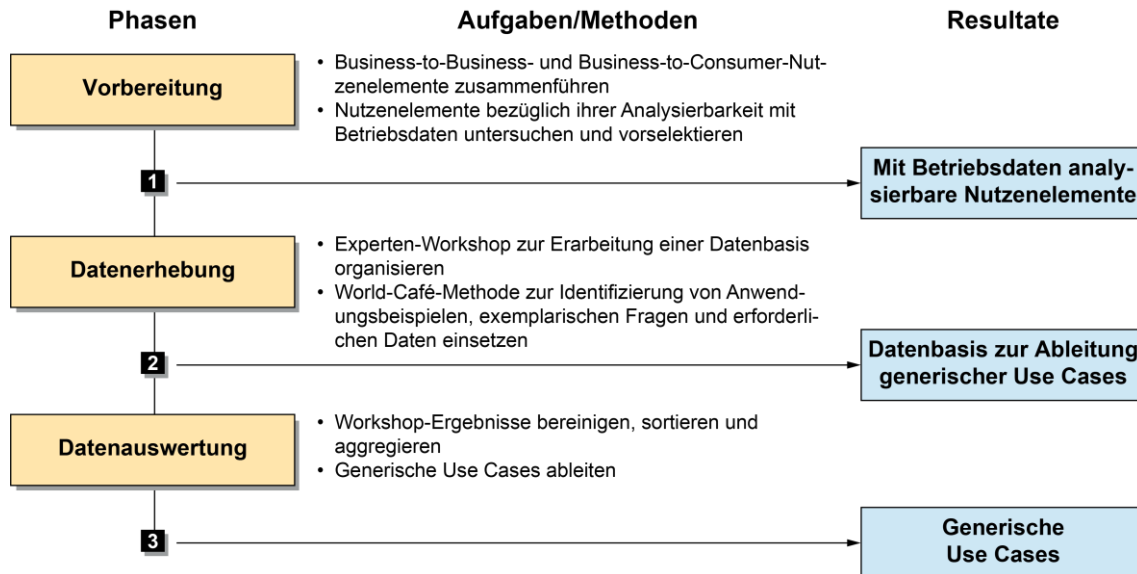


Bild 4-6: Gewähltes Vorgehen zur Identifizierung generischer Use Cases für die Betriebsdaten-gestützte Produktplanung

- (1) **Vorbereitung:** Zuerst wurden die Nutzelemente für den Business-to-Business- und den Business-to-Consumer-Kontext zusammengeführt, sodass eine vollständige Liste von Nutzelementen vorlag. Diese wurden anschließend von drei Forschern einschließlich dem Autor der vorliegenden Arbeit unabhängig voneinander hinsichtlich ihrer Analysierbarkeit mit Betriebsdaten untersucht. Die Einzelbewertungen wurden verglichen und unterschiedliche Bewertungen gemeinsam diskutiert, bis ein Konsens herrschte. Als Ergebnis wurden 25 geeignete Nutzelemente identifiziert. Für die weiteren Nutzelemente hielten es alle drei Forscher für nicht möglich, Erkenntnisse über sie aus Betriebsdaten abzuleiten. Ein Beispiel dafür ist das Nutzelement *Hoffnung*. Derartige Nutzelemente wurden verworfen.
- (2) **Datenerhebung:** Da eine empirische Datenerhebung aufgrund der Neuheit der Betriebsdaten-gestützten Produktplanung und des damit verbundenen geringen Umsetzungsgrads in der Praxis nicht möglich war, wurde eine Erarbeitung der generischen Use Cases durch ein Experten-Panel im Rahmen von zwei Workshops organisiert. Insgesamt nahmen 17 Experten aus den Bereichen Produktplanung, Produktmanagement und Data Science an den beiden Workshops teil. Sechs Teilnehmer kamen aus fünf produzierenden Unternehmen, zehn von fünf Forschungsinstituten und ein Teilnehmer war als Berater im Bereich Innovationsmanagement und Digitalisierung tätig. In den Workshops wurde die World-Café-Methode eingesetzt, um einen kooperativen Dialog zwischen den Experten zu stimulieren [SIG04, S. 2]. Die Experten wurden in Gruppen aufgeteilt und in jeder Runde des World Cafés gebeten, Anwendungsbeispiele (z. B. Analyse von Fehlern), exemplarische Fragen (z. B. *Was passiert vor Fehlern?*) und erforderliche Daten (z. B. Fehler-Logs, Benutzereingaben) für Betriebsdaten-Analysen ausgewählter Nutzelemente zu sammeln.

- (3) **Datenauswertung:** Nach den Workshops wurden die Ergebnisse bereinigt, sortiert und aggregiert. Dies bedeutete z. B. die Verschmelzung sinnesgleicher Fragen und das Entfernen von Duplikaten. Die aggregierten Ergebnisse repräsentierten nun Anwendungsbeispiele mit zugehörigen Fragen und Betriebsdaten. Diese Ergebnisse wurden dann genutzt, um die generischen Use Cases abzuleiten. Das Vorgehen dafür lehnte sich an das von KOLDEWEY vorgeschlagene Zuordnen und Ergänzen konkreter Instanzen zu bestehenden generischen Klassen an [Kol21, S. 123ff.]. Die bestehende Wissensbasis stellten die in Tabelle 2-2 aufgeführten Use Cases dar, die mit der thematischen Analyse aus der Interviewstudie abgeleitet wurden. Die in den Workshops identifizierten Anwendungsbeispiele wurden anschließend den bestehenden Use Cases gegenübergestellt. Dabei wurde geprüft, ob sich die Anwendungsbeispiele einem bestehenden Use Case zuordnen lassen. War dies möglich, wurden die Fragen und Daten diesem zugeordnet. Falls eine Zuordnung nicht möglich war, wurde ein neuer Use Case ergänzt. Zu den zehn im Rahmen der Interviewstudie identifizierten kamen so sieben weitere generische Use Cases hinzu. Die ihnen zugeordneten Fragen der Experten wurden anschließend zum Teil abstrahiert, um die Allgemeingültigkeit der Use Cases zu gewährleisten. Anschließend wurden sie anhand der DA-Leistungsklassen nach STEENSTRUP ET AL. klassifiziert [SSE+14, S. 12]. Falls zu einer Leistungsklasse eines Use Cases nicht mindestens zwei exemplarische Fragen vorlagen, wurden geeignete Fragen ergänzt. Die resultierenden 17 generischen Use Cases werden im folgenden Abschnitt vorgestellt.

4.4.1.2 Ergebnis

Die 17 generischen Use Cases der Betriebsdaten-gestützten Produktplanung gliedern sich nach ihrem Fokus in drei Gruppen. Die erste Gruppe sind die **Use Cases mit Produkt-Fokus**. Das Verfolgen dieser Use Cases verspricht Erkenntnisgewinne über das Produkt selbst. Die Use Cases sind: (1) Analyse der Anforderungen, (2) Analyse der Zuverlässigkeit, (3) Analyse der Fehler, (4) Analyse des Verschleißes, (5) Analyse der Lösungsalternativen, (6) Analyse der Usability sowie (7) Analyse der Belastung.

Use Cases mit Prozess-Fokus bilden die zweite Gruppe. Sie stellen den Prozess in den Vordergrund, in dem die Produkte eingesetzt werden. Dabei werden folgende Use Cases unterschieden: (8) Analyse der Produktivität, (9) Analyse der Prozessqualität, (10) Analyse der Ressourcen, (11) Analyse der Emissionen sowie (12) Analyse der gesetzlichen Konformität.

Die abschließende Gruppe bilden **Use Cases mit Kunden- und Nutzer-Fokus**. Diese beschreiben, welche Möglichkeiten der Betriebsdaten-Analyse es zur Wissensgenerierung über Kunden und Nutzer gibt. Folgende Use Cases werden in dieser Gruppe gebündelt: (13) Analyse der Produktnutzung, (14) Analyse der Featurenutzung, (15) Analyse

der Produktvarianten, (16) Analyse des Nutzerverhaltens sowie (17) Analyse der Nutzerbedürfnisse.

Dokumentiert sind die Use Cases **in Form eines Kartensets**. Auf der **Vorderseite** beinhaltet jede Karte Angaben über die Zielsetzung, die erforderlichen Daten sowie die adressierten Nutzelemente. Die *erforderlichen Daten* beschreiben Betriebsdaten-Klassen, die voraussichtlich zur Analyse des Use Cases benötigt werden. Verwendet werden die Betriebsdaten-Klassen aus Abschnitt 4.4.2.2. Die *adressierten Nutzelemente* fassen die Nutzelemente zusammen, in deren Kontext die Experten den betrachteten Use Case nannten. Auf der **Rückseite** sind exemplarische Fragen für die vier DA-Leistungsklassen nach STEENSTRUP ET AL. aufgeführt [SSE+14, S. 12]. Bild 4-7 zeigt die Vorder- und Rückseite einer exemplarischen Karte. Alle weiteren Use-Case-Karten sind in Anhang A2.1 dokumentiert.

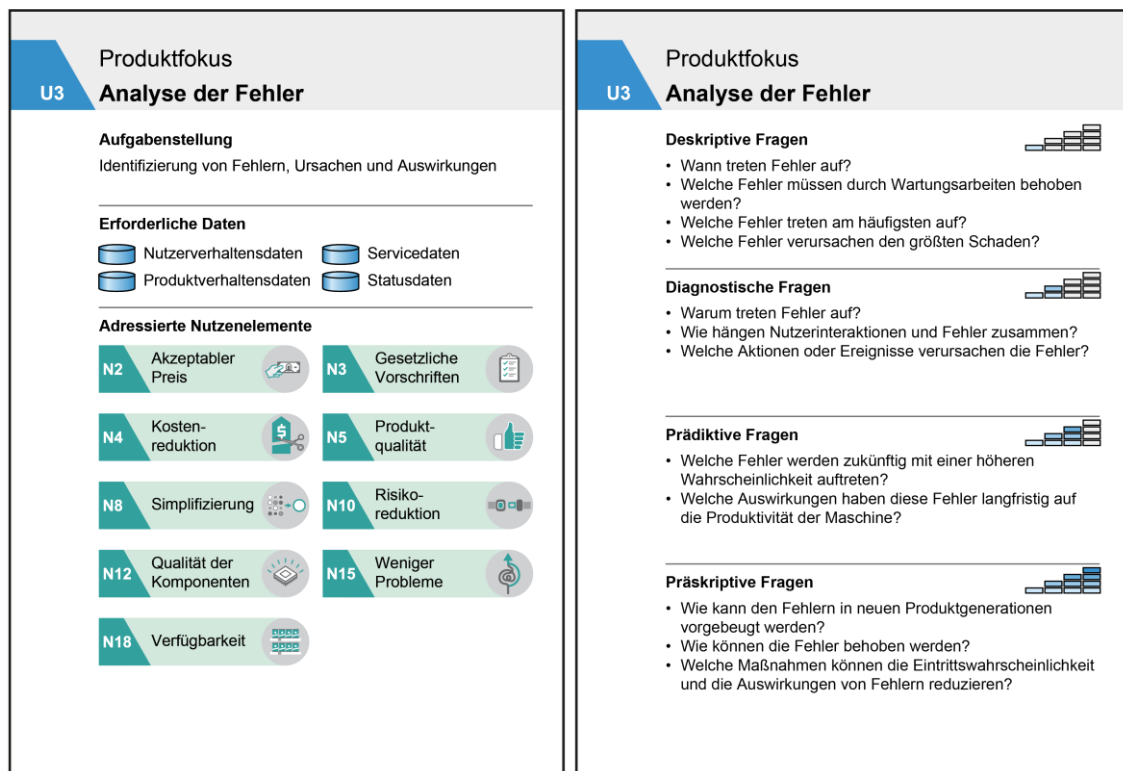


Bild 4-7: Beispiel für die Vorder- und Rückseite einer Use-Case-Karte des Kartensets zur Dokumentation und Anwendung der generischen Use Cases in Workshops

Als Ergänzung zu den Use-Case-Karten gibt es außerdem **Karten für die einzelnen Nutzelemente**. Diese zeigen auf der **Vorderseite** eine Definition des Nutzelements, eine Verortung auf den Hierarchie-Ebenen in der Nutzenpyramide sowie einige allgemeine Beispiele. Die **Rückseite** enthält Angaben über die Use Cases, die auf das jeweilige Nutzelement einzahlen. Außerdem werden drei fiktive Beispiele beschrieben, wie ein Use Case zur Erfüllung des jeweiligen Nutzelements beitragen kann. Die Vorder- und Rückseite einer exemplarischen Karte ist in Bild 4-8 dargestellt. Anhang A2.2 enthält alle weiteren Nutzelemente-Karten.

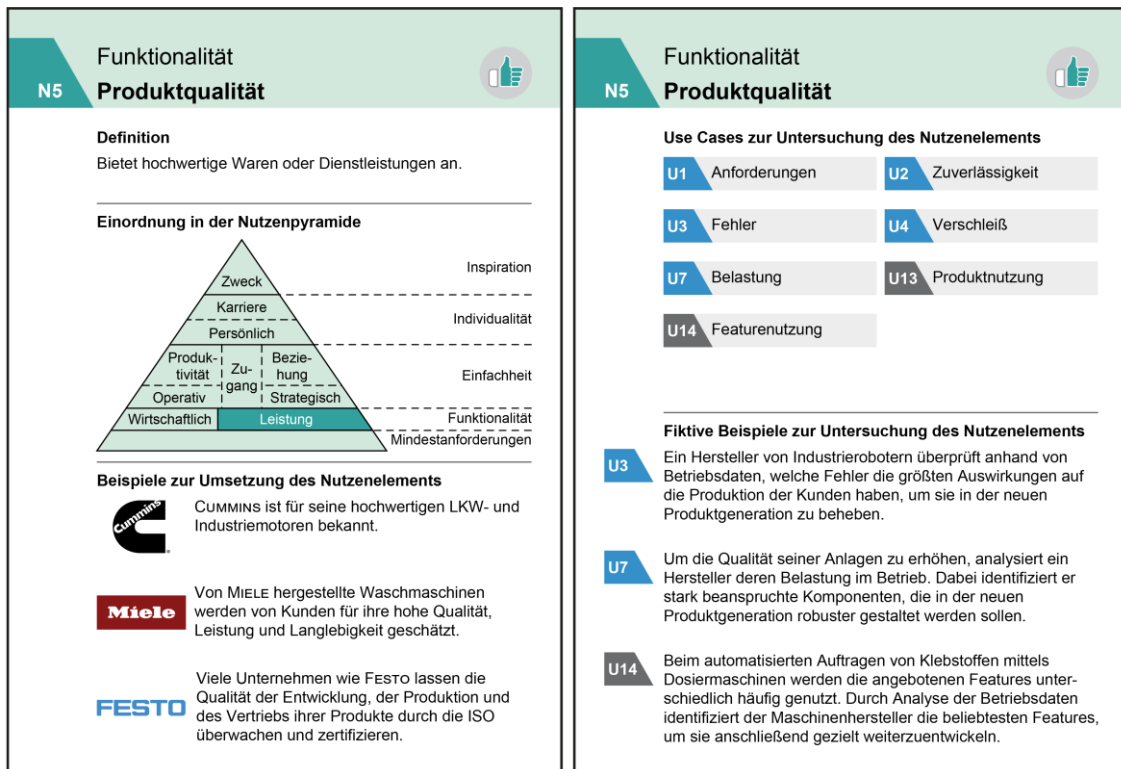


Bild 4-8: Beispiel für die Vorder- und Rückseite einer Nutzelemente-Karte des Kartensets zur Dokumentation und Anwendung der generischen Use Cases in Workshops

Einen Überblick über die Zuordnung von generischen Use Cases und Nutzelementen liefert die Gegenüberstellung in Bild 4-9.

Gegenüberstellung Use Cases & Nutzelemente																												
Fragestellung: „Adressiert der gener. Use Case i (Zeile) das gener. Nutzelement j (Spalte)?“																												
☒ = ja ☐ = nein																												
Use Cases: Analyse...			Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
Produkt	der Anforderungen	1	x	x			x	x					x		x													
	der Zuverlässigkeit	2			x	x	x						x		x		x	x	x		x							x
	der Fehler	3		x	x	x	x			x			x		x			x			x							
	des Verschleißes	4	x			x	x								x	x					x					x		x
	der Lösungsalternativen	5		x		x			x																			
	der Usability	6								x				x			x				x			x	x			
	der Belastung	7				x	x	x									x	x						x	x			
Prozess	der Produktivität	8		x		x				x				x		x				x	x				x		x	
	der Prozessqualität	9											x			x		x								x		x
	der Ressourcen	10			x	x		x				x			x		x									x	x	x
	der Emissionen	11			x	x									x													
	der gesetzl. Konformität	12	x		x																							x
Kunde/Nutzer	der Produktnutzung	13					x	x					x	x						x		x	x	x	x	x	x	x
	der Featurenutzung	14		x		x	x			x									x	x		x	x		x	x	x	x
	der Produktvarianten	15						x															x					
	des Nutzerverhaltens	16									x	x				x	x	x		x			x		x	x	x	x
	der Nutzerbedürfnisse	17															x						x	x		x		

Bild 4-9: Gegenüberstellung von generischen Use Cases und Nutzelementen [MPK+22, S. 1057]

4.4.2 Betriebsdaten-Klassifikation

In den Workshops zur Identifizierung von generischen Use Cases der Betriebsdaten-gestützten Produktplanung wurden neben Fragen auch konkrete Betriebsdaten-Beispiele zu deren Untersuchung ermittelt (Abschnitt 4.4.1.1). Diese Daten ließen sich mit Hilfe bestehender Betriebsdaten-Klassifikationen wie der nach KREUTZER [Kre19, S. 164] jedoch nicht vollständig beschreiben. Es war daher eine neue Betriebsdaten-Klassifikation erforderlich, um die Konsistenz mit den identifizierten generischen Use Cases aufrecht zu erhalten. Abschnitt 4.4.2.1 zeigt das Forschungsdesign zur Entwicklung dieser Betriebsdaten-Klassifikation. In Abschnitt 4.4.2.2 werden die identifizierten Betriebsdaten-Klassen anschließend vorgestellt. Diese wurden in [MPK+22] vorab veröffentlicht.

4.4.2.1 Forschungsdesign

Zur Entwicklung der Betriebsdaten-Klassifikation wurde zunächst eine Betriebsdaten-Taxonomie erstellt. Dafür wurde die Methode zur Taxonomie-Entwicklung nach NICKERSON ET AL. angewendet, die in Bild 4-10 dargestellt ist [NVM13, S. 345].

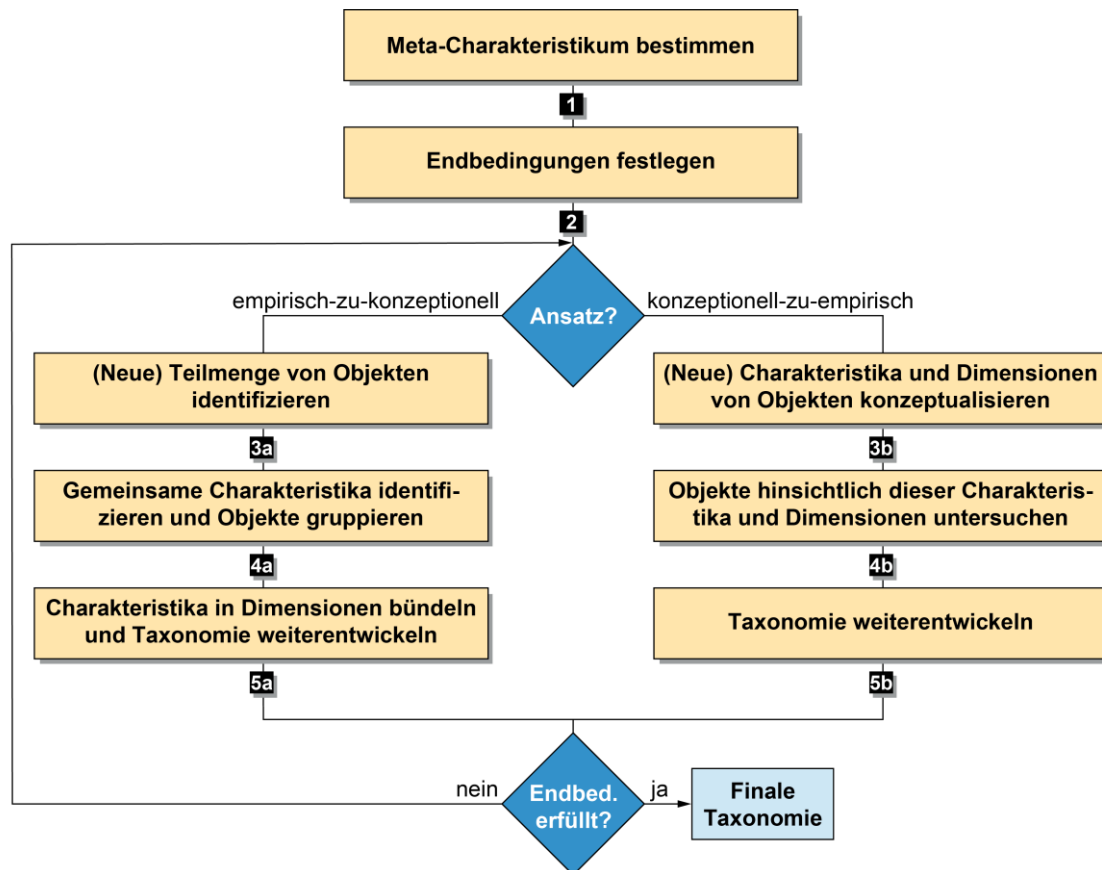


Bild 4-10: Methode zur Taxonomie-Entwicklung [NVM13, S. 345]

Im ersten Schritt dieser Methode wird ein **Meta-Charakteristikum** bestimmt, das sich aus dem Zweck der Taxonomie ableitet und den Suchraum für Dimensionen und Charakteristika zur Unterscheidung der betrachteten Objekte aufspannt [NVM13, S. 343]. Der Zweck der betrachteten Betriebsdaten-Taxonomie ist die Strukturierung heterogener Betriebsdaten anhand ihrer Eigenschaften. Z. B. sollte die Taxonomie aufzeigen, anhand welcher Eigenschaften sich Daten aus Serviceberichten von Sensordaten unterscheiden. Die Eigenschaften von Betriebsdaten wurden daher als Meta-Charakteristikum der Taxonomie festgelegt.

Aufgrund des iterativen Vorgehens der Taxonomie-Entwicklung werden im zweiten Schritt die **Endbedingungen** festgelegt. Sind diese erfüllt, wird die Überarbeitung der Taxonomie beendet. NICKERSON ET AL. weisen darauf hin, dass es sowohl objektive als auch subjektive Endbedingungen für die Taxonomie-Entwicklung gibt. Außerdem liefern die Autoren für beide Arten von Endbedingungen Vorschläge, denen für die Entwicklung der Betriebsdaten-Taxonomie weitestgehend gefolgt wurde. Zu den objektiven Endbedingungen zählen z. B., dass jedes Charakteristikum von mindestens einem Objekt repräsentiert wird und dass jedes Charakteristikum einzigartig in seiner Dimension ist. Zu den subjektiven Endbedingungen zählen z. B. die Robustheit und die Vollständigkeit der Taxonomie [NVM13, S. 343f.].

Für die eigentliche Taxonomie-Entwicklung unterscheiden die Autoren zwei Ansätze. Der **empirisch-zu-konzeptionelle Ansatz** bietet sich an, wenn wenig Wissen über die betrachtete Domäne, aber umfangreiche Daten über die zu klassifizierenden Objekte vorhanden sind. Dabei werden zunächst neue Objekte identifiziert und anhand gemeinsamer Charakteristika gruppiert. Anschließend werden die Charakteristika in Dimensionen gebündelt, wodurch die Taxonomie weiterentwickelt wird. Ist die Datenlage hingegen schlecht, das Domänenwissen der Forscher aber signifikant ausgeprägt, eignet sich der **konzeptionell-zu-empirische Ansatz**. In diesem werden zu Beginn neue Charakteristika und Dimensionen konzeptualisiert. Anschließend werden die bekannten Objekte im Hinblick auf diese Charakteristika und Dimensionen untersucht. Das Ergebnis ist wiederum eine weiterentwickelte Taxonomie. Beide Ansätze sind situativ abwechselnd und iterativ zu durchlaufen, bis alle Endbedingungen erfüllt sind [NVM13, S. 345f.]. Für die betrachtete Betriebsdaten-Taxonomie wurden wie empfohlen beide Ansätze iterativ eingesetzt. Für die konkrete Weiterentwicklung der Taxonomie wurde außerdem auf die Taxonomie-Operationen nach KUNDISCH ET AL. zurückgegriffen [KMO+22, S. 433], z. B. um zwei ähnliche Objekte zu einem neuen Objekt zu vereinen oder ein doppeldeutiges Objekt in zwei eindeutige Objekte aufzuteilen. Zur Überprüfung ihrer Validität und Konsistenz wurde die Betriebsdaten-Taxonomie immer wieder mit bestehenden Betriebsdaten-Definitionen und -Klassifikationen hinterfragt (vgl. Abschnitt 2.1.4). Die finale Betriebsdaten-Taxonomie zeigt Bild 4-11.

Aufbauend auf der finalen Betriebsdaten-Taxonomie wurde eine Cluster-Analyse durchgeführt, um Ähnlichkeiten unter den Betriebsdaten-Beispielen zu identifizieren. Konkret wurde die KNIME-Analytics-Plattform (www.knime.com) verwendet, um ein agglomerativ-hierarchisches Clustering mit Complete-Linkage-Fusionierung der Betriebsdaten-Beispiele durchzuführen. Input war dabei die Betriebsdaten-Taxonomie aus Bild 4-11. Auf diese Weise konnten fünf Betriebsdaten-Cluster identifiziert werden, die im nachfolgenden Abschnitt 4.4.2.2 vorgestellt werden.

Betriebsdaten-Taxonomie	M	DZ			DS	DE	BF				ZW	EF			ID					
	Ausprägungen																			
		Mensch	Produkt	Umfeld	Strukturiert	Semi-strukturiert	Kontinuierlich	Ereignis-basiert	Produkt	Umfeld	Nutzer	Kunde	Situation erfassen	Aktion veranlassen	Hoch	Mittel	Niedrig	Hoch	Mittel	Niedrig
		„Beschreibt das Charakteristikum j (Spalte) das Betriebsdaten-Beispiel i (Zeile)?“																		
☒ = ja ☐ = nein																				
Betriebsdaten-Beispiele	Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Sensordaten (Produkt & Prozess)	1		x		x		x		x		x		x		x					x
Aktordaten	2		x		x		x		x					x	x					x
Serviceberichtsdaten	3	x				x		x	x				x				x	x		
Bestell- & Auftragsdaten	4			x		x		x				x		x		x			x	
Logdateidaten	5		x		x			x	x	x	x		x			x		x		
Mitarbeiterdaten	6	x			x			x			x		x			x				x
Nutzerinteraktionsdaten	7	x			x			x			x			x	x					x
Nutzereinstellungsdaten	8	x			x			x		x	x	x		x			x			x
Sensordaten (Umfeld)	9			x	x		x			x			x		x					x
Wartungsberichtsdaten	10	x				x		x	x				x				x	x		
Leistungsdaten	11		x		x		x		x			x	x		x					x
Ressourcenverbrauchsdaten	12		x		x		x		x				x		x					x
Betriebsartsdaten	13		x		x			x	x				x			x				x
Konfigurationsdaten	14		x		x			x	x				x			x				x
Zeit- & Ortsdaten	15		x		x		x			x			x			x				x
Kundenbeschwerdedaten	16	x				x		x	x	x	x		x				x	x		
Funktions- & Featurenutzungsdaten	17		x		x		x				x	x	x			x				x
Qualitätsberichtsdaten	18	x			x			x	x				x				x	x		
Emissionsdaten	19		x		x		x		x				x			x				x
Netzwerk- & Datenverkehrsdaten	20		x		x		x		x	x			x			x				x

Legende:

M: Merkmal

DE: Datenentstehung

EF: Entstehungsfrequenz

DZ: Datenerzeuger

BF: Beschreibungsfokus

ID: Informationsdichte Datenpunkt

DS: Datenstruktur

ZW: Zweck

Bild 4-11: Finale Betriebsdaten-Taxonomie

4.4.2.2 Ergebnis

Das Clustering der Betriebsdaten-Beispiele der Experten aus beiden Workshops zur Ermittlung generischer Use Cases der Betriebsdaten-gestützten Produktplanung führte zu fünf Betriebsdaten-Clustern. Im Folgenden wird jedes Cluster vorgestellt:

- (1) **Nutzungsdaten:** Diese Teilmenge der Betriebsdaten beschreibt, wie ein Produkt von den Kunden und Nutzern eingesetzt und genutzt wird. Dabei beziehen sich die Daten auf den Zweck des Produkts und nicht die Interaktion mit diesem. Bestell- und Auftragsdaten sind Beispiele für dieses Cluster.
- (2) **Nutzerverhaltensdaten:** Mit diesem Cluster wird das Nutzerverhalten während des Betriebs des Produkts zusammengefasst. Im Gegensatz zu den Nutzungsdaten steht dabei die Interaktion zwischen Nutzer und Produkt im Vordergrund. Beispiele für dieses Cluster sind Nutzereinstellungs- und Nutzerinteraktionsdaten.

- (3) **Servicedaten:** Dieses Betriebsdaten-Cluster repräsentiert semi-strukturierte Daten, die sich auf Probleme des Produkts und dessen Qualität beziehen. Sie enthalten eine hohe Informationsdichte pro Datenpunkt und entstehen im Vergleich mit den anderen Betriebsdaten-Beispielen in einer niedrigen Frequenz. Beispiele sind Wartungs- und Serviceberichtsdaten.
- (4) **Produktverhaltensdaten:** Die Betriebsdaten-Beispiele in diesem Cluster zeigen, wie sich das Produkt im Betrieb verhält und welche Leistung es dabei erbringt. Diese Daten werden durch große Volumina und eine kontinuierliche Generierung im Betrieb charakterisiert. Aktor- und Sensordaten sind anschauliche Beispiele für dieses Cluster.
- (5) **Statusdaten:** Mit den Daten dieses Clusters werden der Status und die „Gesundheit“ des betrachteten Produkts beschrieben. Diese Daten erfassen den Kontext zu spezifischen Betriebssituationen. Beispiele sind Konfigurationsdaten sowie Zeit- und Ortsdaten.

Gemeinsam bilden die fünf Cluster eine Betriebsdaten-Klassifikation, deren Dendrogramm in Bild 4-12 abgebildet ist. Wie bereits in Abschnitt 4.4.1.2 zur Vorstellung der generischen Use Cases erwähnt, wurden die Betriebsdaten-Cluster entsprechend ihrer Nennung mit den Use Cases verknüpft und auf den Use-Case-Karten aufgeführt.

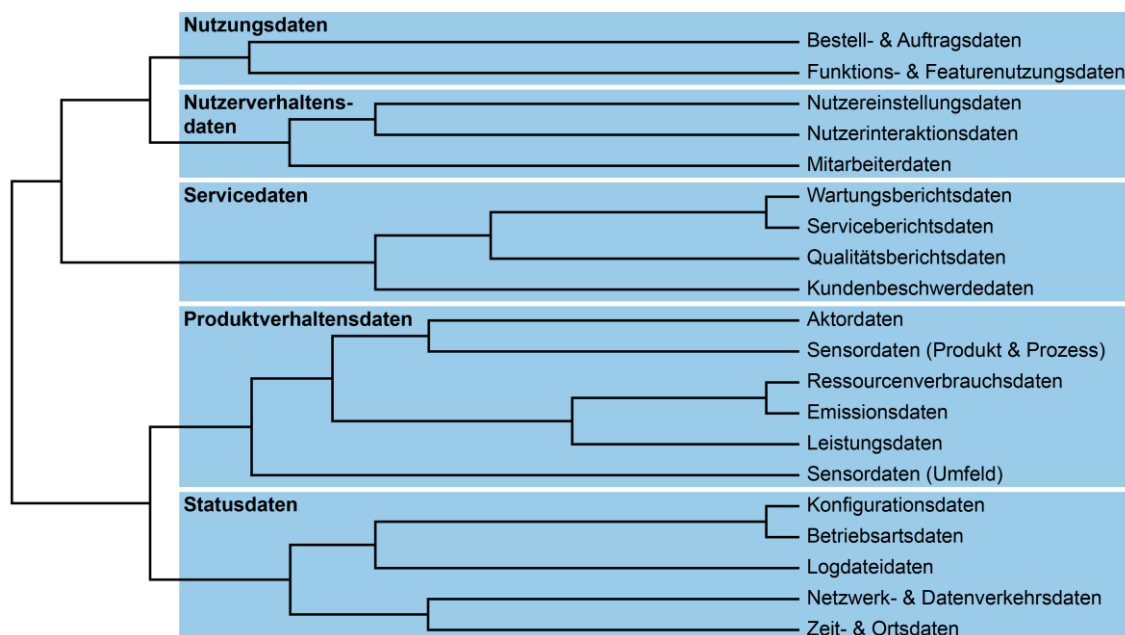


Bild 4-12: Dendrogramm der Betriebsdaten-Klassifikation mit hervorgehobenen Betriebsdaten-Clustern [MPK+22, S. 1056]

4.4.3 Vorgehensmodell

Das Vorgehensmodell stellt den Kern der Methode zur Planung von Betriebsdaten-Analysen in der strategischen Produktplanung dar. Es beschreibt konkrete Schritte und Me-

thoden für die Bearbeitung des ersten Hauptprozesses der Betriebsdaten-gestützten Produktplanung. Produktmanagern wird so gezeigt, wie sie Erfolg versprechende Use Cases für ihr jeweiliges Produkt und Unternehmen erarbeiten können. Im Einzelnen bedeutet das:

- (1) In der **Analytics-Bedarfsanalyse** wird zunächst die Vision des betrachteten Produkts beschrieben. Anschließend werden mögliche Untersuchungsbedarfe ermittelt. Im Zuge einer Bewertung werden die Untersuchungsbedarfe priorisiert.
- (2) Die **Analytics-Potentialanalyse** dient der Ermittlung von Stärken und Schwächen des betrachteten Produkts und Unternehmens im Hinblick auf die Betriebsdaten-gestützte Produktplanung. Dafür werden produkt-, kunden- und unternehmensbezogene Merkmale analysiert.
- (3) Im **Use-Case-Entwurf** wird die grundsätzliche Richtung eines Erfolg versprechenden Use Cases festgelegt. Dies geschieht durch die Bestimmung von Zielen und Rahmenbedingungen des Use Cases.
- (4) Im Rahmen der **Use-Case-Konkretisierung** wird der betrachtete Use Case inhaltlich detailliert. Zunächst werden dafür Fragen ermittelt, die der Analytics-Experte mit der Betriebsdaten-Analyse beantworten soll. Anschließend werden für alle Fragen die benötigten Daten bestimmt.

Bild 4-13 fasst die Beschreibung des Vorgehens zusammen. Die einzelnen Phasen werden in den nachfolgenden Abschnitten detailliert vorgestellt. Das Vorgehen wurde in [MPW+23c] vorab veröffentlicht.

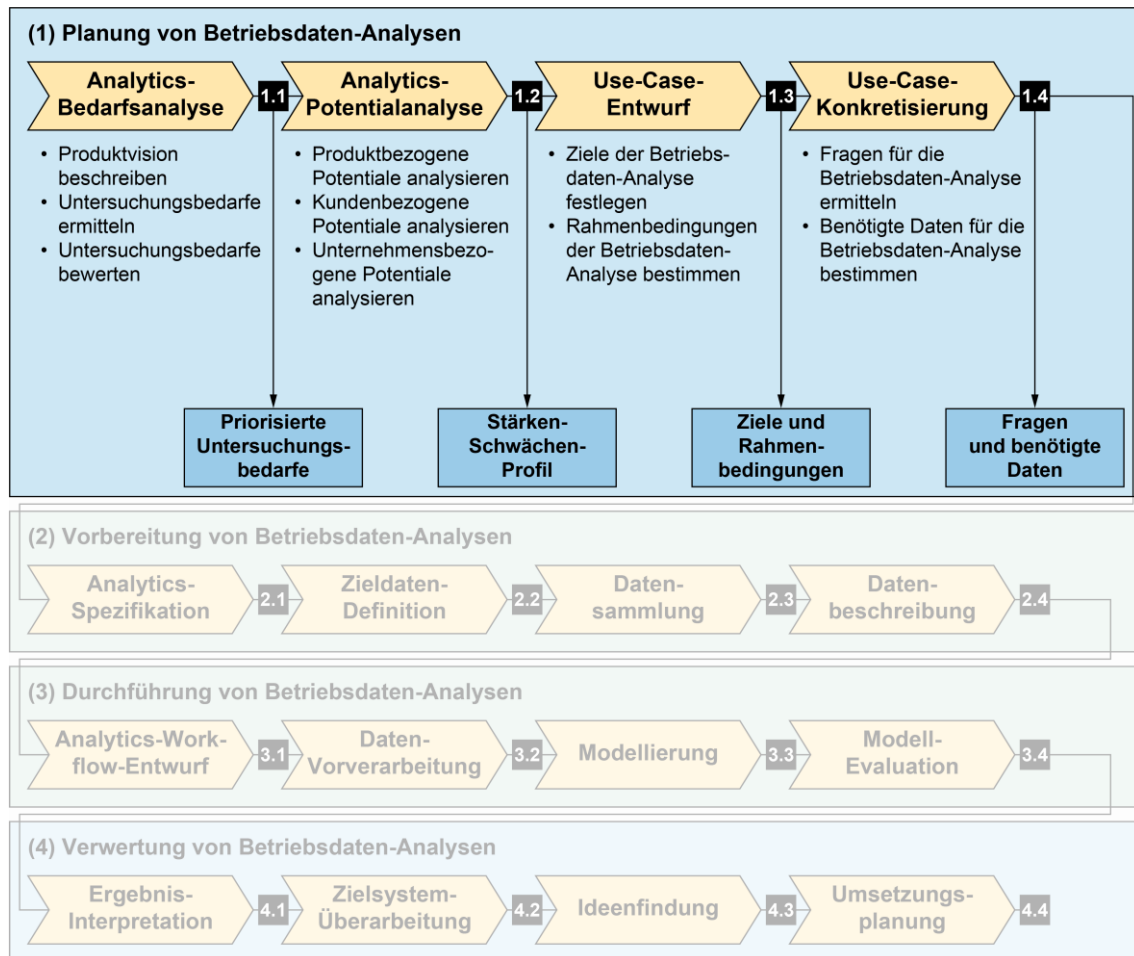


Bild 4-13: Vorgehensmodell zur Planung von Betriebsdaten-Analysen in der strategischen Produktplanung

4.4.3.1 Analytics-Bedarfsanalyse

Mit der Analytics-Bedarfsanalyse beginnt die Methode zur Planung von Betriebsdaten-Analysen in der strategischen Produktplanung. Diese Phase zielt auf relevante Untersuchungsbedarfe für eine Betriebsdaten-Analyse ab. Ihre Leitfrage lautet: *Was sollten wir mit Betriebsdaten-Analysen in der strategischen Produktplanung untersuchen?*

Ausgangspunkt der Analytics-Bedarfsanalyse ist eine Produktvision für zukünftige Produktgenerationen. Diese beschreibt ein angestrebtes attraktives Zielbild des Produkts in der Zukunft. Wie von der heutigen Situation zu dieser Vision gelangt werden soll, wird in der Produktstrategie beschrieben. Nach GAUSEMEIER ET AL. beschreibt eine Strategie im Allgemeinen eine Leitlinie für das tägliche Handeln, die im Sinne von Leitplanken die Richtung zur Erreichung der Vision vorgibt und die Kräfte des Unternehmens immer wieder bündelt [GP14, S. 38]. Bild 4-14 stellt diese Metapher im Kontext der Produktstrategie visuell dar.

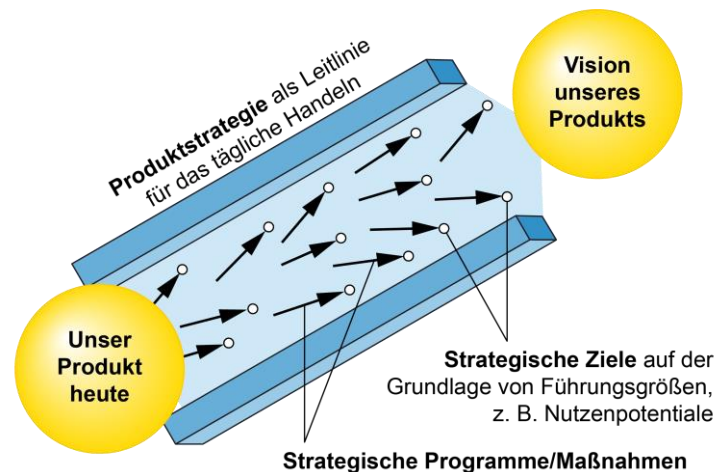


Bild 4-14: Die Produktstrategie als Weg zur Produktvision, dargestellt in Anlehnung an GAUSEMEIER und PLASS [GP14, S. 39]

Das Bild zeigt, dass die Produktstrategie und damit das tägliche Handeln sowohl von der Vision als auch von der heutigen Situation des Produkts abhängen. Die Vision fungiert dabei als ein visionäres Zielsystem des Produkts. Der Abgleich von Vision bzw. visionärem Zielsystem und heutiger Situation legt den Handlungsbedarf offen, der mit der Produktstrategie adressiert wird. Eine fehlerhafte Einschätzung der heutigen Situation des Produkts führt somit zu einer ineffektiven Produktstrategie und gefährdet damit die Erreichung der Produktvision.

In der strategischen Produktplanung ist es demnach essentiell, ein möglichst präzises und realistisches Bild der heutigen Situation des Produkts zu erarbeiten. Wie Abschnitt 2.2.1 zeigt, versprechen insbesondere die Betrachtung der Betriebsphase und damit die Analyse der Betriebsdaten des Produkts relevante Erkenntnisgewinne. Mit Betriebsdaten-Analysen kann so z. B. ermittelt werden, wie groß der Abstand zur Produktvision gegenwärtig ist und was die relevantesten Handlungsfelder sind. Die Erkenntnisse und Konsequenzen daraus fließen anschließend wieder in die Produktvision und -strategie ein, wodurch beide in Teilen validiert werden. Im Folgenden wird das konkrete Vorgehen beschrieben.

Damit die geplanten Betriebsdaten-Analysen auf relevante Ziele einzahlen, sind die Untersuchungsbedarfe aus der Produktvision abzuleiten. Dafür wird die Produktvision zunächst in Form eines Produktprofils nach ALBERS ET AL. beschrieben [AHW+18, S. 257f.]. Schwerpunktmäßig werden dabei der Anbieter-, Kunden- und Anwendernutzen betrachtet, da diese den geplanten Betrieb der Produktvision adäquat beschreiben. Die Erfassung der Nutzenversprechen geschieht auf Basis des Value Proposition Canvas nach OSTERWALDER ET AL. [OPB+14, S. 8f.]. Dieses stellt die Aufgaben, Gewinne und Probleme der Kunden auf der rechten Seite dem Produkt mit seinen gewinnerzeugenden und problemlösenden Eigenschaften und Features auf der linken Seite gegenüber. Zur Erfassung des Anbieter-, Kunden- und Anwendernutzen werden drei separate Instanzen des Value Proposition Canvas verwendet. Diese werden für die Anbieter-, Kunden- und An-

wendersicht ausgefüllt. Die Identifizierung des Kunden- und Anwender-Nutzenversprechens unterstützen die generischen Nutzelemente nach ALMQUIST ET AL., die bereits zur Ermittlung der generischen Use Cases in Abschnitt 4.4.1.1 beschrieben wurden [ACS18, S. 76], [ASB16, S. 51]. Nach dem Ausfüllen der drei Sichten des Value Proposition Canvas werden die Nutzenversprechen in das Produktprofil übertragen, mit dem die Produktvision beschrieben wird. Bild 4-15 stellt dies dar.

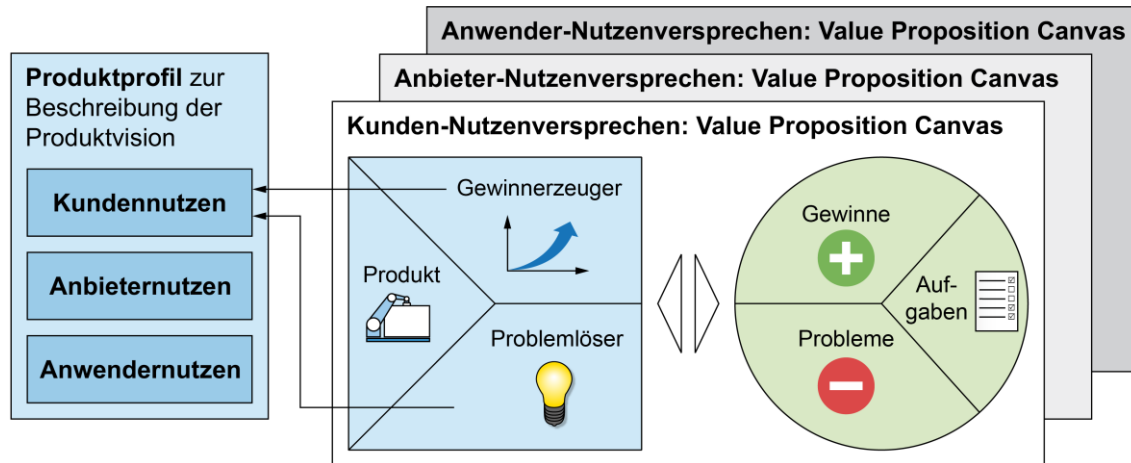


Bild 4-15: Ausprägung eines Produktprofils zur Beschreibung der Produktvision mit dem Value Proposition Canvas nach OSTERWALDER ET AL. [OPB+14, S. 8f.]

Die einzelnen Elemente des identifizierten Nutzenversprechens repräsentieren potentielle Untersuchungsbedarfe für Betriebsdaten-Analysen. Zur Ermittlung des konkreten Untersuchungsbedarfs werden diese Nutzelemente klassifiziert. Die Klassifizierung basiert auf einem Vergleich mit den Produktprofilen der bestehenden Produktgenerationen G_{n-1} , G_{n-2} usw., die sich in ihrer Betriebsphase befinden und Datenquellen für die Betriebsdaten-Analysen darstellen. Aufbauend auf den Zielsystem-Operationen von MEBOLDT werden vier Klassen von Nutzelementen unterschieden [Meb08, S. 189]:

- (1) **Übernommen:** Die Produktprofile der Vorgängergenerationen G_{n-1} , G_{n-2} usw. besitzen das Nutzelement bereits in der gleichen Ausprägung. Das Nutzelement wird ohne Veränderung in die Produktvision übernommen.
- (2) **Verändert:** Die Produktprofile der Vorgängergenerationen G_{n-1} , G_{n-2} usw. besitzen das Nutzelement in einer anderen Ausprägung. Das Nutzelement wird in der Produktvision variiert.
- (3) **Ergänzt:** Die Produktprofile der Vorgängergenerationen G_{n-1} , G_{n-2} usw. besitzen das Nutzelement noch nicht. Das Nutzelement wird in der Produktvision entsprechend ergänzt.
- (4) **Entfernt:** Die Produktprofile der Vorgängergenerationen G_{n-1} , G_{n-2} usw. besitzen das Nutzelement, das Produktprofil der Produktvision jedoch nicht mehr. Das Nutzelement wird demnach entfernt.

Die Bewertung und Priorisierung der potentiellen Untersuchungsbedarfe geschehen anhand von zwei Dimensionen. Zum einen wird die strategische Relevanz der Nutzelemente beurteilt. Zum anderen werden die mit den Nutzelementen assoziierten Unsicherheiten eingeschätzt. Diese können sich z. B. darauf beziehen, dass die tatsächliche Ausprägung eines Nutzelements im Betrieb unklar ist. Das Ergebnis wird in dem Portfolio aus Bild 4-16 grafisch dargestellt. Drei Bereiche werden unterschieden: Der Bereich links unten beschreibt Untersuchungsbedarfe, die weder ausgesprochen relevant noch mit einer besonders hohen Unsicherheit assoziiert werden. Im mittleren Bereich werden Untersuchungsbedarfe aufgeführt, die entweder eine hohe strategische Relevanz besitzen oder durch hohe Unsicherheiten gekennzeichnet sind – aber nicht beides gleichzeitig. Hoch priorisierte Untersuchungsbedarfe werden im Bereich oben rechts angezeigt. Sie besitzen eine hohe strategische Relevanz, außerdem werden mit ihnen hohe Unsicherheiten verbunden. Im Bild ist dies z. B. das Nutzelement Verfügbarkeit, das eine hohe strategische Relevanz besitzt und unter anderem aufgrund seiner Veränderung mit hohen Unsicherheiten assoziiert wird. Diese Untersuchungsbedarfe sind das Resultat der ersten Phase. Ihre Analyse mit Betriebsdaten verspricht einen hohen Erkenntnisgewinn für die Produktvision und die Produktstrategie.

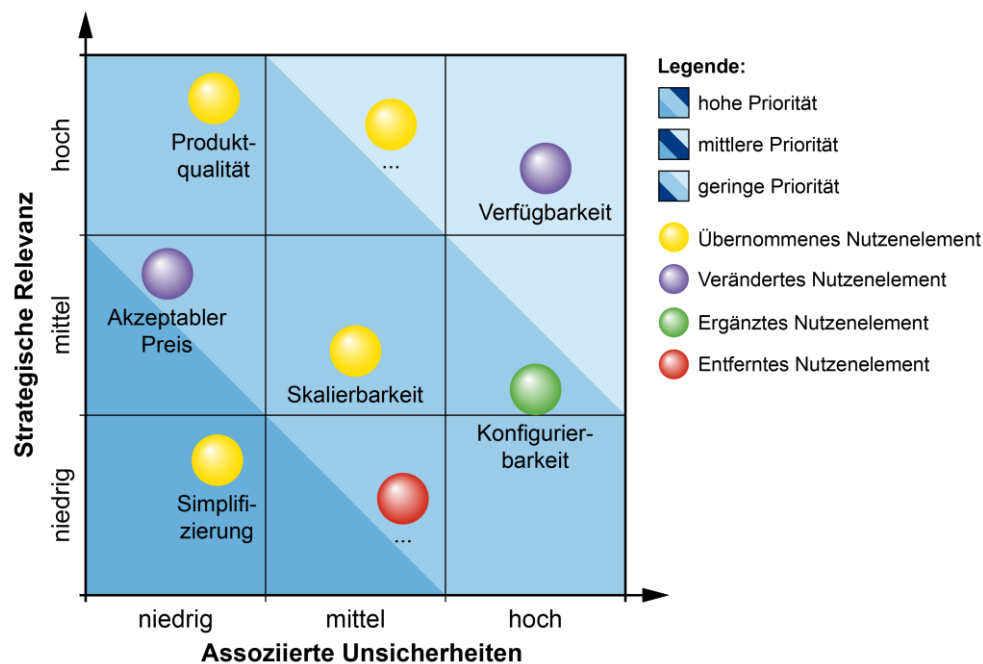


Bild 4-16: Portfolio zur Priorisierung der Untersuchungsbedarfe

4.4.3.2 Analytics-Potentialanalyse

Auf die Analytics-Bedarfsanalyse folgt die Analytics-Potentialanalyse als zweite Phase der Methode. Gegenstand dieser Phase ist die Identifizierung von Stärken und Schwächen des betrachteten Unternehmens im Hinblick auf die Betriebsdaten-gestützte Produktplanung. Dies spiegelt sich wider in der Leitfrage: *Welche Stärken und Schwächen besitzen*

wir im Hinblick auf die Durchführung von Betriebsdaten-Analysen in der strategischen Produktplanung?

Da der Stand der Forschung keine geeigneten Ansätze zur Ermittlung eines Stärken-Schwächen-Profiles für die Durchführung von Betriebsdaten-Analysen enthält (Abschnitt 3.4), wurde auf Basis der Problemanalyse und der darin untersuchten Studien ein dediziertes Modell entwickelt (Abschnitt 2.4.3.1 und 2.4.3.2). Konkret wurden dabei die Studien von HOLLER ET AL., WILBERG ET AL. und DENG ET AL. sowie die selbst durchgeführte Interviewstudie zu den Potentialen und Herausforderungen der Betriebsdaten-gestützten Produktplanung in produzierenden Unternehmen berücksichtigt [HSU+16], [WSK+17], [DWH+21], [MFK+22a]. Alle Studien wurden im Hinblick auf geeignete Merkmale zur Ermittlung eines Stärken-Schwächen-Profiles für die Durchführung von Betriebsdaten-Analysen analysiert. Konzeptionell orientiert sich das Modell an etablierten Stärken-Schwächen-Analysen, wie sie z. B. GAUSEMEIER und PLASS beschreiben [GP14, S. 136ff.].

Das daraus entstandene Modell besteht aus den drei Dimensionen (1) *Produkt*, (2) *Kunden* und (3) *Unternehmen*. Jede Dimension bündelt inhaltsverwandte Merkmale, deren Ausprägungen die Ausgestaltung der Betriebsdaten-gestützten Produktplanung im Unternehmen erheblich beeinflussen.

Mit der Dimension (1) *Produkt* werden Merkmale zusammengefasst, deren Ausprägungen Hinweise auf die Eignung des betrachteten Produkts für die Betriebsdaten-gestützte Produktplanung liefern. Besonders geeignete Produkte zeichnen sich durch ein nachvollziehbares Betriebsverhalten aus [HSU+16, S. 486], [MFK+22a, S. 9]. Sie besitzen eine hohe Anzahl an Sensoren und Aktoren [HSU+16, S. 486], [WSK+17, S. 821], [MFK+22a, S. 9]. Außerdem werden sie sehr lange und häufig betrieben [HSU+16, S. 486]. Es gibt eine hohe Anzahl digital angebundener Produktinstanzen im Feld [MFK+22a, S. 9]. Abschließend weisen sie auch eine hohe Produktinstanz- und Datenvergleichbarkeit auf [HSU+16, S. 486], [WSK+17, S. 821], [MFK+22a, S. 9f.]. Bild 4-17 zeigt einen exemplarisch ausgefüllten Fragebogen zur Beurteilung der Merkmale in der Dimension *Produkt*.

Stärken-Schwächen-Analyse Produkt-Merkmale	Beurteilung					Erläuterung
	--	-	o	+	++	
Nachvollziehbarkeit des Betriebsverhaltens		X				Sehr komplexe Maschine mit zahlreichen äußeren Einflussparametern
Anzahl an Sensoren und Aktoren				X		Zahlreiche Aggregate mit eigenen Aktoren und Sensoren
Dauer und Häufigkeit des Betriebs					X	Betrieb fast ausschließlich in zwei oder drei Schichten
Anzahl digital angebundener Produktinstanzen im Feld			X			In den letzten Jahren stark steigend
Vergleichbarkeit von Produktinstanzen und deren Daten im Feld	X					Sehr individuelle Maschinen mit generationsbedingt oft heterogenen Daten

Legende: -- sehr niedrig - eher niedrig o neutral + eher hoch ++ sehr hoch

Bild 4-17: Fragebogen für die Ermittlung von Stärken und Schwächen in der Dimension Produkt

Die Dimension (2) *Kunden* umfasst Merkmale zur Beurteilung der Bereitschaft und Fähigkeit der Kunden, dem Hersteller Betriebsdaten zurückzuspielen. Erforderlich ist zunächst eine grundsätzliche Bereitschaft der Kunden zur Betriebsdaten-Bereitstellung [WSK+17, S. 821], [MFK+22a, S. 10]. Besonders hilfreich sind dabei langjährige und vertrauensvolle Kundenbeziehungen [MFK+22a, S. 10], [MPW+23a, S. 137f.]. Dies wird flankiert von einer vorhandenen digitalen Netzinfrastruktur für den Datenzugriff [WSK+17, S. 821], [MFK+22a, S. 10]. Außerdem ist die Datenverwendung auch rechtlich geregelt [MFK+22a, S. 10]. Der Fragebogen zur Beurteilung der Merkmale in der Dimension *Kunden* ist in Bild 4-18 dargestellt.

Stärken-Schwächen-Analyse Kunden-Merkmale	Beurteilung					Erläuterung
	--	-	o	+	++	
Bereitschaft zur Betriebsdaten-Bereitstellung		X				Überwiegend Skepsis, nur wenige offene Kunden
Qualität der Kundenbeziehungen					X	Langjährige und vertrauensvolle Partnerschaften mit zahlreichen Kunden
Vorhandensein digitaler Netzinfrastruktur für den Datenzugriff			X			In den letzten Jahren vermehrt aufgebaut
Vorhandensein rechtlicher Vereinbarungen zur Datenverwendung	X					Bisher nur vereinzelte Vereinbarungen zur akuten Problemanalyse

Legende: -- sehr niedrig - eher niedrig o neutral + eher hoch ++ sehr hoch

Bild 4-18: Fragebogen für die Ermittlung von Stärken und Schwächen in der Dimension Kunden

Die Merkmale der Dimension (3) *Unternehmen* adressieren abschließend die Fähigkeit des betrachteten Unternehmens, Betriebsdaten in der strategischen Produktplanung zu analysieren. Eine Grundvoraussetzung sind ausgeprägte Data-Analytics-Kompetenzen [WSK+17, S. 821], [MFK+22a, S. 11]. Außerdem vermindert eine digitale Datendurchgängigkeit den zu betreibenden Aufwand ungemein [WSK+17, S. 821], [DWH+21,

S. 3306], [MFK+22a, S. 11]. Hilfreich ist zudem eine eingespielte Kooperation von Produkt- und Analytics-Experten im Unternehmen [MFK+22a, S. 11]. Die Organisation muss in Form der einzelnen Mitarbeiter und auch als Ganzes dazu bereit sein, die Betriebsdaten-gestützte Produktplanung und die damit einhergehenden Veränderungen anzunehmen [WSK+17, S. 821], [DWH+21, S. 3306], [MFK+22a, S. 11]. Abschließend ist es der Sache auch sehr dienlich, wenn das Unternehmen einen transparenten Überblick über die Produktinstanz-Konfigurationen im Feld besitzt [MFK+22a, S. 10]. Bild 4-19 stellt den Fragebogen zur Beurteilung der Merkmale in der Dimension *Unternehmen* bereit.

Stärken-Schwächen-Analyse Unternehmens-Merkmale	Beurteilung					Erläuterung
	--	-	o	+	++	
Data-Analytics-Kompetenzen				X		In den letzten Jahren sukzessive aufgebaut
Digitale Datendurchgängigkeit		X				Noch zahlreiche „Daten-Inseln“ ohne Schnittstellen untereinander
Kooperation von Produkt- und Analytics-Experten				X		In den letzten Jahren in mehreren Projekten intensiv ausgebaut
Bereitwilligkeit einzelner Mitarbeiter & der gesamten Organisation			X			Grundsätzlich gegeben, aber Vorbehalte bei einzelnen Mitarbeitern vorhanden
Überblick über Produktinstanz-Konfigurationen im Feld	X					Kaum vorhanden, da PLM-System erst vor zwei Jahren eingeführt

Legende: -- sehr niedrig - eher niedrig o neutral + eher hoch ++ sehr hoch

Bild 4-19: Fragebogen für die Ermittlung von Stärken und Schwächen in der Dimension Unternehmen

Für die Durchführung der Analytics-Potentialanalyse werden eine Interviewreihe oder Workshops mit einer heterogenen Gruppe von Mitarbeitern empfohlen. In Interviews beurteilen die Interviewpartner die Merkmale individuell. Nach Abschluss der Interviewreihe werden die Ergebnisse zusammengeführt. Workshops bieten hingegen direkte Diskussionsmöglichkeiten. Die finale Beurteilung wird dabei im Sinne einer Konsentscheidung herbeigeführt. Für beide Varianten gilt, dass die Merkmale und ihre Ausprägungen ausführlich zu erläutern sind. Ein Missverständnis und eine daraus folgende falsche Beurteilung können schwerwiegende Planungsfehler in der anschließenden Use-Case-Definition zur Folge haben. Das Ergebnis der Analytics-Potentialanalyse ist ein unternehmensindividuelles Stärken-Schwächen-Profil. Gemeinsam mit den priorisierten Untersuchungsbedarfen aus der Analytics-Bedarfsanalyse bildet dieses die Grundlage für den Use-Case-Entwurf.

4.4.3.3 Use-Case-Entwurf

Aufbauend auf den priorisierten Untersuchungsbedarfen und dem Stärken-Schwächen-Profil steht in der dritten Phase der Use-Case-Entwurf im Fokus. Dabei werden Ziele und Rahmenbedingungen für einen Erfolg versprechenden Use Case definiert. Die zugehörige

Leitfrage lautet: *Welche Ziele sollen wir mit unserem Use Case verfolgen und welche Rahmenbedingungen müssen wir dabei beachten?*

Zunächst werden die Use-Case-Ziele festgelegt. Inhaltlich sind diese eng mit den priorisierten Untersuchungsbedarfen verknüpft (Abschnitt 4.4.3.1). Die Ziele werden jedoch auch vor dem Hintergrund des Stärken-Schwächen-Profiles (Abschnitt 4.4.3.2) definiert. Um eine ganzheitliche Betrachtung der Ziele zu gewährleisten, werden vier Kategorien zur Beschreibung der Ziele unterschieden. Diese stellen die Synthese der Hinweise zur Definition von Use Cases des CRISP-DM-Guides sowie der VDI/VDE-Richtlinie 3714 Blatt 1 dar [CCK+00, S. 14], [VDI/E3714, S. 15f.]. Die Kategorien sind:

- (1) **Übergeordnete Ziele der strategischen Produktplanung:** Bei den übergeordneten Zielen der strategischen Produktplanung handelt es sich um fachspezifische Ziele [CCK+00, S. 14], [VDI/E3714, S. 15], die sich aus einem betrachteten priorisierten Untersuchungsbedarf ergeben und diesen weiter detaillieren. Sie liefern den Kontext und die Begründung des Use Cases. Je nach Klassifizierung des Nutzelements, das dem Untersuchungsbedarf zugrunde liegt, ergeben sich unterschiedliche Ziele. Bei einem im Vergleich zu den bestehenden Produktgenerationen variierten Nutzelement kann dies z. B. bedeuten, dass die Sinnhaftigkeit der Variation mit den Betriebsdaten überprüft werden soll.
- (2) **Thema des Use Cases:** Dieser Aspekt beschreibt, wie die Erreichung der übergeordneten Ziele mit einer Betriebsdaten-Analyse unterstützt werden soll [CCK+00, S. 14]. Für ein übergeordnetes Ziel gibt es dabei stets mehrere mögliche Use Cases. An dieser Stelle helfen die entwickelten generischen Use Cases, die in Abschnitt 4.4.1.2 vorgestellt werden. Auf Basis der Gegenüberstellung mit den generischen Nutzelementen nach ALMQUIST ET AL. werden systematisch mögliche generische Use Cases für gegebene Nutzelemente vorgeschlagen. Bild 4-20 zeigt die Ermittlung eines geeigneten generischen Use Cases am Beispiel des Nutzelements *Zeiteinsparungen*.
- (3) **Erfolgskriterien des Use Cases:** Neben den eigentlichen Zielen werden an dieser Stelle auch bereits die Erfolgskriterien des Use Cases festgelegt. Damit wird festgehalten, welches Projektergebnis als Erfolg und welches als Misserfolg gewertet wird und wie diese Einstufung ermittelt wird. Die Kriterien können spezifisch und objektiv messbar oder aber generisch und nur subjektiv beurteilbar sein [CCK+00, S. 14], [VDI/E3714, S. 15].
- (4) **Systemgrenzen der Betriebsdaten-Analyse:** Abschließend werden noch die Systemgrenzen der Betriebsdaten-Analyse definiert. Damit wird z. B. festgelegt, welche Produktinstanzen oder welche Teilprozesse in der Betriebsdaten-Analyse berücksichtigt werden sollen. Alles außerhalb der Systemgrenzen wird bewusst nicht betrachtet [VDI/E3714, S. 16].

Gegenüberstellung Use Cases & Nutzelemente		Nutzelemente																										
Fragestellung: „Adressiert der gener. Use Case i (Zeile) das gener. Nutzelement j (Spalte)?“		Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	
☒ = ja ☐ = nein																												
Use Cases: Analyse...																												
Produkt	der Anforderungen	1	x	x			x	x					x		x													
	der Zuverlässigkeit	2				x	x	x					x		x		x	x			x						x	
	der Fehler	3		x	x	x	x				x		x		x						x							
	des Verschleißes	4		x		x	x								x	x					x						x	
	der Lösungsalternativen	5		x																					x			
	der Usability	6																										
	der Belastung	7																										
Prozess	der Produktivität	8		x		x								x		x				x	x			x		x		
	der Prozessqualität	9														x		x						x			x	
	der Ressourcen	10			x	x									x		x								x	x	x	
	der Emissionen	11			x	x									x													
	der gesetzl. Konformität	12	x			x																					x	
Kunde/Nutzer	der Produktnutzung	13					x	x					x	x												x	x	x
	der Featurenutzung	14		x			x	x			x															x	x	x
	der Produktvarianten	15							x																			
	des Nutzerverhaltens	16									x	x				x	x									x	x	x
	der Nutzerbedürfnisse	17															x											

Bild 4-20: Identifizierung geeigneter generischer Use Cases am Beispiel des Nutzelements „Zeiteinsparungen“

Auf die Bestimmung der Ziele folgt die Festlegung der Rahmenbedingungen des betrachteten Use Cases. Diese werden aufbauend auf den Hinweisen aus dem CRISP-DM-Guide ebenfalls in vier Kategorien untergliedert [CCK+00, S. 14f.]:

- (1) **Anforderungen an die Betriebsdaten-Analyse:** Die Anforderungen umfassen sowohl formale als auch inhaltliche Aspekte, die während der Betriebsdaten-Analyse beachtet werden sollen [CCK+00, S. 15].
- (2) **Grundannahmen der Betriebsdaten-Analyse:** Mit Grundannahmen werden wesentliche Voraussetzungen umrissen, auf deren Basis die Betriebsdaten-Analyse stattfinden soll. Falsche, nicht zutreffende Grundannahmen vermindern die Validität der Datenanalyse-Ergebnisse drastisch [CCK+00, S. 15].
- (3) **Restriktionen der Betriebsdaten-Analyse:** Die Restriktionen repräsentieren bekannte Einschränkungen der Betriebsdaten-Analyse. Sie können ebenfalls formeller als auch inhaltlicher Natur sein [CCK+00, S. 15].
- (4) **Risiken der Betriebsdaten-Analyse:** Die Risiken beschreiben mögliche Gefährdungen des Erfolgs oder des Zeitplans der Betriebsdaten-Analyse. Neben den Risiken selbst werden auch etwaige Maßnahmen zur Risikoreduktion und Auswirkungsminimierung erfasst [CCK+00, S. 15].

Ziele und Rahmenbedingungen bilden gemeinsam das Grundgerüst eines Use Cases für die Betriebsdaten-gestützte Produktplanung. Darüber hinaus stellen sie das Resultat des Use-Case-Entwurfs dar. Dokumentiert werden Ziele und Anforderungen in Form eines Steckbriefs, der exemplarisch in Bild 4-21 abgebildet ist. Auf dieser Basis folgt in der abschließenden Phase des Planungsprozesses die Konkretisierung des Use Cases.

Ziele und Rahmenbedingungen des Use Cases: Ausfallanalyse	
Ziele Übergeordnete Ziele der strat. Produktplanung • Betrieb des Produkts soll weniger Aufwand erzeugen • Produkt soll "einfach laufen" und nicht ausfallen • ...	Rahmenbedingungen Anforderungen an die Betriebsdaten-Analyse • Datenanalyse abgeschlossen bis Ende Juni 2023 • Hohe Ergebnisvalidität wegen strategischer Bedeutung • ...
Thema des Use Cases • Analyse der Zuverlässigkeit • Identifizierung regelmäßig ausfallender Elemente • ...	Grundannahmen der Betriebsdaten-Analyse • Korrekte Installation aller Produktinstanzen • Nutzung geeigneter Werkzeuge • ...
Erfolgskriterien des Use Cases • Ermittlung des Ausfallrisikos aller Systemelemente • Identifizierung der häufigsten Ursachen • ...	Restriktionen der Betriebsdaten-Analyse • Datenerhebung nur mit rechtlicher Vereinbarung • Sensornachrüstung nur in Einzelfällen möglich • ...
Systemgrenzen der Betriebsdaten-Analyse • Fokussierung auf in Deutschland installierte Instanzen • Vorgelagerte Prozesse werden nicht berücksichtigt • ...	Risiken der Betriebsdaten-Analyse • Ablehnung der Datenbereitstellung durch Kunden • Kaum vergleichbare Bedingungen im Betriebsumfeld • ...

Bild 4-21: Steckbrief zur Modellierung von Zielen und Rahmenbedingungen eines Use Cases, exemplarisch ausgeprägt

4.4.3.4 Use-Case-Konkretisierung

In der vierten Phase wird der zuvor entworfene Use Case konkretisiert. Dies geschieht durch die Erarbeitung von relevanten Fragen und zugehörigen Betriebsdaten, die zur Beantwortung der Fragen untersucht werden sollen. Mit diesen Konkretisierungsschritten werden der entworfene Use Case und die damit verbundene DA-Aufgabenstellung dem Analytics-Experten zugänglich gemacht. Daraus folgt die Leitfrage: *Welche Fragen sollen beantwortet und welche Betriebsdaten analysiert werden?*

Den Startpunkt der Phase bildet die Identifizierung relevanter Fragen. Methodisch wird dies mit einem Fragen-Canvas unterstützt. Dieses kann z. B. in Workshops ausgefüllt werden. Bild 4-22 zeigt das Canvas. In das erste Feld werden Informationen zum Use Case eingetragen, die sicher bekannt sind. Da dieses Feld die Basis für die beiden weiteren Felder darstellt, wird es zuerst ausgefüllt. Im zweiten Feld rechts daneben werden Vermutungen zum Use Case gesammelt. Diese dienen als weitere Aufhänger für die Erarbeitung relevanter und interessanter Fragen.

Das dritte Feld dient abschließend der Sammlung von Fragen, die mit den Betriebsdaten zu beantworten sind. Sie können aus zuvor beschriebenem Wissen (Feld 1), explizierten

Vermutungen (Feld 2) oder bewussten Wissenslücken abgeleitet werden. Zur Strukturierung der Fragen und Förderung der Kreativität ist das Feld in Anlehnung an STEENSTRUP ET AL. in *deskriptive*, *diagnostische*, *prädiktive* und *präskriptive* Fragen unterteilt [SSE+14, S. 11f.]. Die Generierung von Fragen wird durch die generischen Use Cases und Beispielfragen aus allen vier Klassen unterstützt [MPK+22, S. 1055ff.]. Methodisch empfiehlt sich insbesondere in Workshops das sog. Question-Storming. Diese Methode ist an das klassische Brainstorming angelehnt, zielt aber auf die Generierung von relevanten Fragen ab, die die Richtung für weitere Aktivitäten vorgeben [Ber16, S. 154]. Zunächst werden dabei nach dem Motto „Quantität vor Qualität“ möglichst viele Fragen in einer bestimmten Zeit generiert. Anschließend werden alle Fragen verbessert, bewertet und priorisiert [Rig22-ol]. Für diesen Schritt bestehen zahlreiche etablierte Methoden. In Workshops bietet sich z. B. das Punktekleben an.

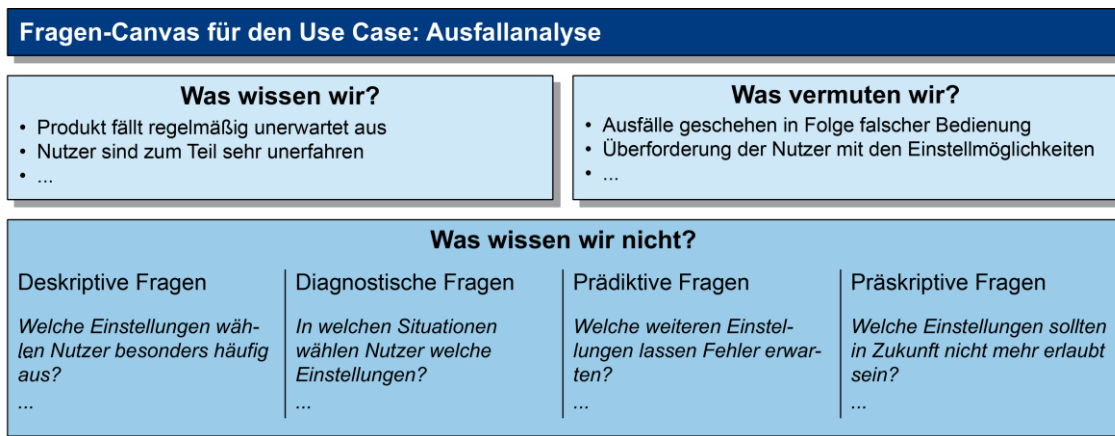


Bild 4-22: Canvas zur Identifizierung relevanter Fragen für die Betriebsdaten-Analyse

Bei besonders komplexen Produkten kann es für die Generierung spezifischer Fragen erforderlich sein, das System- und Problemverständnis iterativ zu vertiefen (Abschnitt 2.4.3.2). Dafür bietet sich z. B. die Erstellung eines Ishikawa-Diagramms oder die Durchführung einer Fehlerbaumanalyse an, wie sie in Bild 4-23 dargestellt ist [ESH15, S. 5], [UDP+20, S. 534].

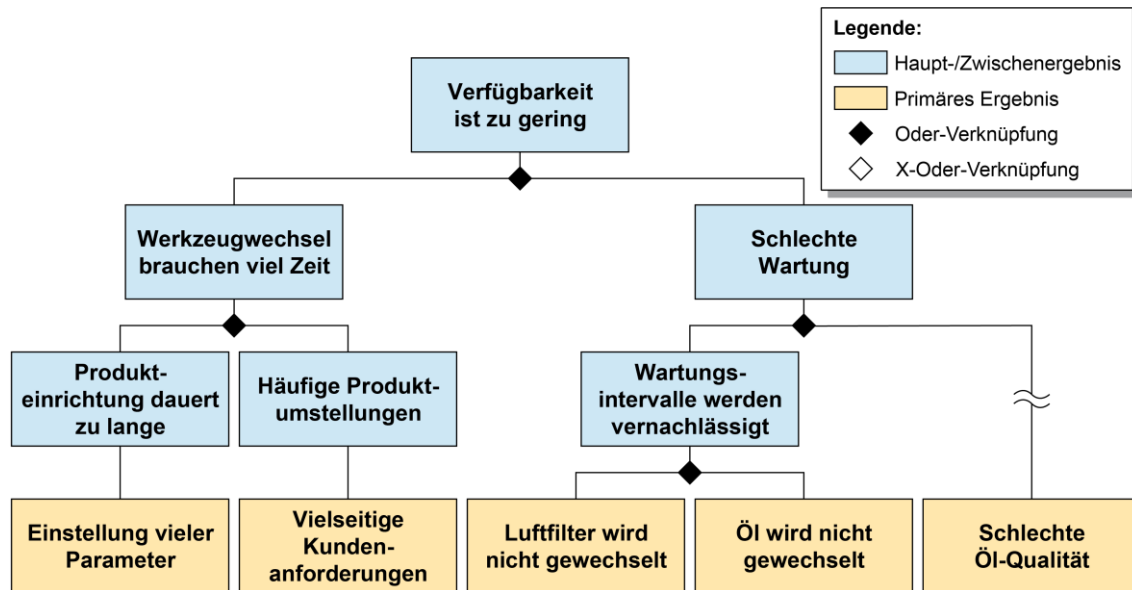


Bild 4-23: Vertiefung des System- und Problemverständnisses mit Hilfe einer Fehlerbaumanalyse, Darstellung in Anlehnung an EDLER ET AL. [ESH15, S. 18]

Aufbauend auf den priorisierten Fragen werden die zu analysierenden Betriebsdaten ermittelt. Besonders hilfreich ist dabei die Analyse von Umfeld- und Wirkstrukturmodellen des betrachteten Produkts. Dies kann z. B. mit der Spezifikationstechnik CONSENS geschehen [GDE+19, S. 416ff.]. Mit einem Umfeldmodell werden die Einbettung des Produkts in sein Umfeld und die bestehenden Wirkbeziehungen beschrieben. Die prinzipielle Wirkungsweise des Produkts stellt hingegen das Wirkstrukturmodell dar. Es zeigt Abhängigkeiten und Interaktionen der Subsysteme des betrachteten Produkts [GDE+19, S. 419]. Beide Modelltypen enthalten explizit Informationen über Stoff-, Energie- und Informationsflüsse. Außerdem geben sie an, ob die jeweiligen Flüsse bereits gemessen werden, z. B. durch entsprechende Sensoren. Sind die Modelle aufgestellt, werden die erforderlichen Betriebsdaten direkt aus den Modellen abgelesen. Bild 4-24 stellt das Prinzip am Beispiel einer Kaffeemaschine und ihres Umfeldmodells dar. Auch wenn Fragen nicht selten sehr ähnliche Daten erfordern, werden die benötigten Betriebsdaten für jede Frage einzeln ermittelt. Andernfalls ist mit zahlreichen Rückfragen in späteren Phasen der Betriebsdaten-Analyse zu rechnen.

Zu beantwortende Frage:

Wie bedienen Benutzer
unsere Kaffeemaschine?

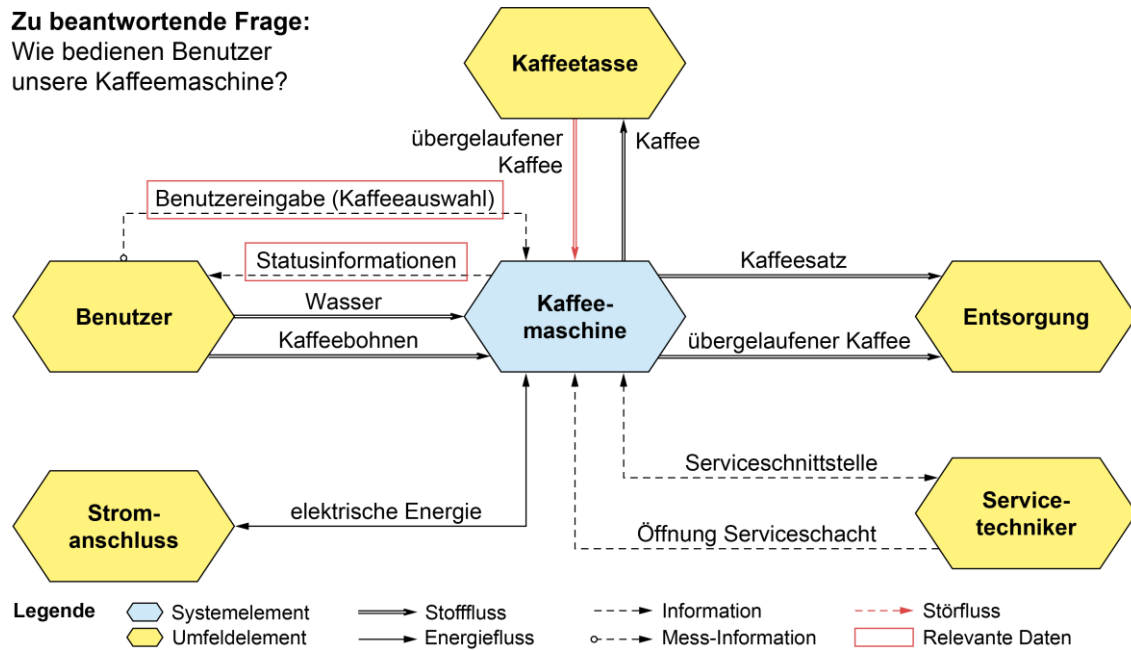


Bild 4-24: Ableitung relevanter Betriebsdaten am Beispiel eines CONSENS-Umfeldmodells, Umfeldmodell entnommen aus [GDE+19, S. 410]

Dokumentiert werden die Fragen und Betriebsdaten in einer Matrix, wie sie in Bild 4-25 zu sehen ist. Diese stellt die Fragen (Zeilen) den Betriebsdaten (Spalten) gegenüber und fasst damit zusammen, welche Fragen welche Betriebsdaten zur Beantwortung benötigen. Darüber hinaus bietet die Matrix weitere interessante Aussagen, z. B.: *Welche Fragen verknüpfen besonders viele unterschiedliche Betriebsdaten und versprechen damit tiefgehende Erkenntnisse? Welche Betriebsdaten werden zur Beantwortung vieler Fragen benötigt und sind damit besonders wichtig?*

Gegenüberstellung Fragen & Betriebsdaten		Betriebsdaten								
Fragestellung: „Sollen die Betriebsdaten j (Spalte) zur Beantwortung der Frage i (Zeile) analysiert werden?“ = ja ☒ = nein ☐		Nr.	1	2	3	4	5		7	11
			Elektrische Energie	Füllstand Bohnenbehälter	Füllstand Wassertank	Brühbefehl	Mahlbefehl		Benutzereingabe (Kaffeeauswahl)	Statusinformationen
Fragen										
Wie bedienen Benutzer unsere Kaffeemaschine?		1		x	x				x	x
Welche Einstellungen wählen Benutzer oft aus?		2							x	
Wie hängen Nutzungsverhalten und Energieverbrauch zusammen?		16	x						x	
Wie verhält sich unsere Kaffeemaschine im Betrieb?		17	x			x	x			x

Bild 4-25: Matrix zur Gegenüberstellung von Fragen und Betriebsdaten

Gemeinsam mit den Zielen und Rahmenbedingungen bilden die in dieser Phase identifizierten Fragen und Betriebsdaten die vollständige Use-Case-Beschreibung. Diese stellt das Ergebnis der Methode zur Planung von Betriebsdaten-Analysen in der strategischen Produktplanung dar. Die Use-Case-Beschreibung wird im Anschluss an den Analytics-Experten übergeben, damit dieser die Betriebsdaten-Analyse vorbereitet und durchführt. Konkret sind dies der Steckbrief in Bild 4-21 sowie die Matrix in Bild 4-25 plus gegebenenfalls ergänzende Dokumente. Wie ein Analytics-Experte aus einem solchen Use Case eine DA-Aufgabe ableiten kann, zeigen PANZNER ET AL. [PME+22, S. 582ff.].

4.5 Methode zur Verwertung von Betriebsdaten-Analysen in der strategischen Produktplanung

Ebenso wie für die Planung wird auch für die Verwertung von Betriebsdaten-Analysen in der strategischen Produktplanung eine methodische Unterstützung benötigt. Eine entsprechende Methode wird in diesem Abschnitt beschrieben. In Abschnitt 4.5.1 werden zunächst Gestaltungsprinzipien vorgestellt, auf denen die Methode basiert. Das Vorgehensmodell der Methode wird anschließend in Abschnitt 4.5.2 präsentiert.

4.5.1 Gestaltungsprinzipien für die Verwertung von Datenanalyse-Ergebnissen in der strategischen Produktplanung

Die Untersuchung des Stands der Forschung hat offengelegt, dass es bisher keinen Ansatz gibt, der die systematische Verwertung von Betriebsdaten-Analysen in der strategischen Produktplanung beschreibt. Es bedarf daher zunächst grundlegender Erkenntnisse über notwendige Schritte der Verwertung von Datenanalyse-Ergebnissen. Dazu werden Gestaltungsprinzipien entwickelt. Diese stellen Empfehlungen oder einen Vorschläge für Tätigkeiten zur Lösung eines Problems dar [McA03, S. 357], [CSP16, S. 39]. Auf ihrer Basis kann im Anschluss das Vorgehensmodell der Methode erstellt werden. Das Forschungsdesign zur Herleitung der Gestaltungsprinzipien beschreibt Abschnitt 4.5.1.1. Im darauffolgenden Abschnitt 4.5.1.2 werden die Gestaltungsprinzipien vorgestellt. Diese wurden in [MFK+22b] vorab veröffentlicht.

4.5.1.1 Forschungsdesign

Zur Entwicklung der Gestaltungsprinzipien wurde die Methode nach MÖLLER ET AL. angewendet [MGO20, S. 213ff.]. Diese ist in Bild 4-26 dargestellt. Der erste Schritt der Methode dient der Formulierung eines sog. Lösungsziels. Dieses soll den Zweck der Gestaltungsprinzipien in Form einer Frage beschreiben [MGO20, S. 213]. Im vorliegenden Fall war dies: *Was sind geeignete Gestaltungsprinzipien für die Verwertung von Datenanalysen in der strategischen Produktplanung?*

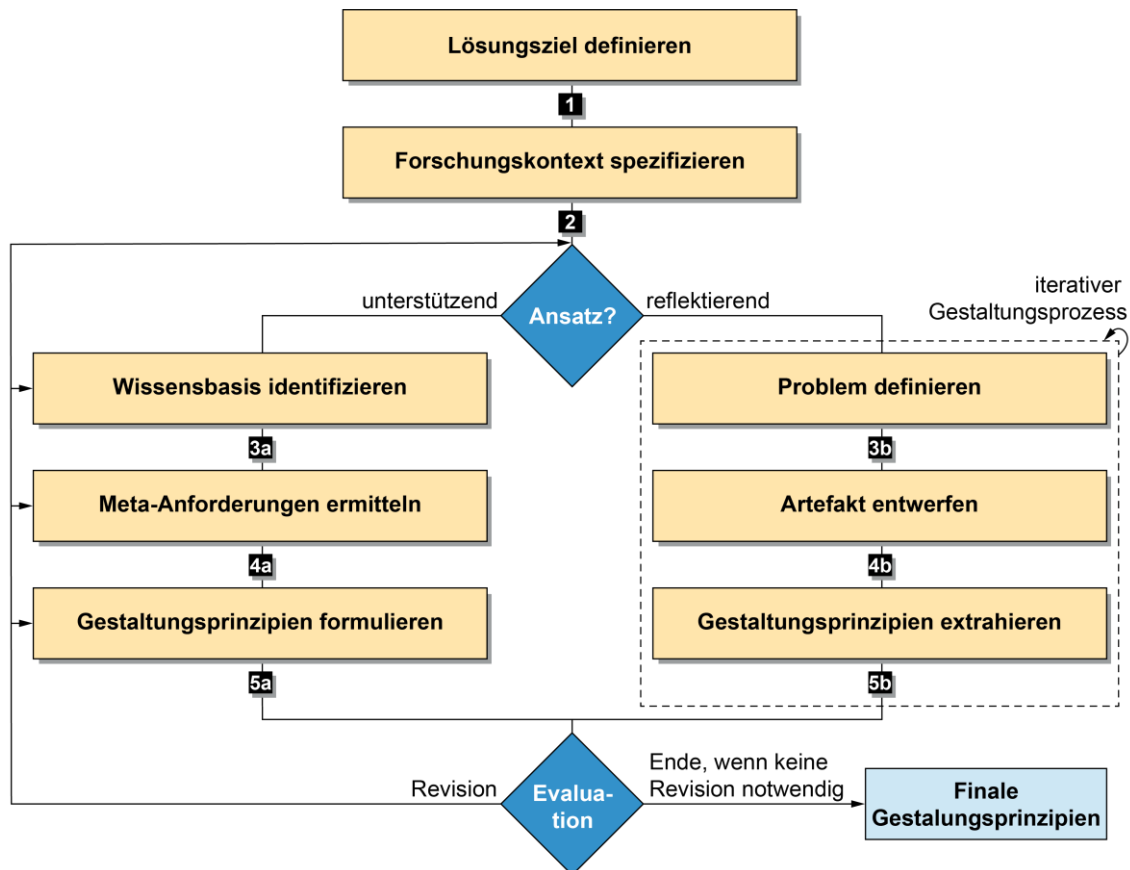


Bild 4-26: Methode zur Entwicklung von Gestaltungsprinzipien [MGO20, S. 213]

Im zweiten Schritt ist der Forschungskontext zu spezifizieren. Dies umfasst vor allem die Auswahl geeigneter Methoden zur Identifizierung von Gestaltungsprinzipien [MGO20, S. 213f.]. Der übergeordnete Forschungskontext der vorliegenden Arbeit wird in Abschnitt 1.3 beschrieben. Für den spezifischen Forschungskontext zur Entwicklung der Gestaltungsprinzipien wurden eine systematische Literaturanalyse und eine kollaborative Studie mit dem Konsortium des Forschungsprojekt DizRuPt vorgesehen, um Erkenntnisse aus Theorie und Praxis miteinander zu verbinden.

Anschließend folgt die eigentliche Entwicklung der Gestaltungsprinzipien. MÖLLER ET AL. schlagen dafür zwei alternative Ansätze vor. Der erste Ansatz ist der **unterstützende Ansatz**, in dem die Gestaltungsprinzipien vor ihrem eigentlichen Einsatz hergeleitet werden, um diesen zu unterstützen. Quellen können z. B. die Literatur, Fallstudien und Experteninterviews sein. Der zweite Ansatz wird als **reflexiver Ansatz** bezeichnet. Dieser beschreibt die Analyse vergangener eigener oder fremder Gestaltungsprozesse und die Abstrahierung von Gestaltungsprinzipien aus diesen Prozessen [MGO20, S. 214]. Zur Entwicklung der Gestaltungsprinzipien für die Verwertung von Datenanalysen in der strategischen Produktplanung wurden beide Ansätze verfolgt.

Im **unterstützenden Ansatz** ist zunächst eine geeignete Wissensbasis zu identifizieren. Anschließend werden Meta-Anforderungen abgeleitet. Dies sind Anforderungen, die nicht nur in einem spezifischen Anwendungsfall gelten, sondern im Kontext des zuvor

formulierten Lösungsziels eine allgemeine Gültigkeit besitzen. Mit Bezug auf die Meta-Anforderungen werden dann Gestaltungsprinzipien abgeleitet [MGO20, S. 214ff.]. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit bestand die Wissensbasis aus den Experten der Anwenderunternehmen des Konsortialforschungsprojekts DizRuPt. In einem World-Café-Workshop erarbeiteten sie Meta-Anforderungen zu den einzelnen Phasen des vierten Hauptprozesses des Referenzprozesses für die Betriebsdaten-gestützte Produktplanung, der in Abschnitt 4.3.2 vorgestellt wird. Die Ergebnisse wurden im Anschluss an den Workshop analysiert und zur Formulierung von Gestaltungsprinzipien genutzt.

Im **reflexiven Ansatz** ist zu betrachten, wie ähnliche Probleme in der Vergangenheit gelöst wurden. Durch Abstraktion werden aus diesen vergangenen Gestaltungsprozessen verwendete Gestaltungsprinzipien abgeleitet. In dieser Arbeit wurden fremde Gestaltungsprozesse zur Verwertung von Datenanalysen analysiert, da die Anwenderunternehmen des Konsortialforschungsprojekts DizRuPt zuvor noch keine Datenanalysen verwertet hatten. Um fremde Gestaltungsprozesse zu identifizieren, wurde eine systematische Literaturanalyse durchgeführt. Diese führte zu elf Artikeln, die Hinweise auf Gestaltungsprinzipien enthielten^{19,20}.

Abschließend wurden die Ergebnisse des unterstützenden und des reflexiven Ansatzes zusammengeführt. Dies geschah durch eine iterative Clusterung und Rekombination, bis Gestaltungsprinzipien vorlagen, die als MECE (mutually exclusive, collectively exhaustive) bewertet wurden, d. h. sie überschneiden sich nicht (mutually exclusive) und beschreiben den Untersuchungsgegenstand gemeinsam vollständig (collectively exhaustive) [Min21, S. 117]. Die Evaluation der Gestaltungsprinzipien fand in Workshops mit den Anwenderunternehmen des Konsortialforschungsprojekts DizRuPt statt. Die Gestaltungsprinzipien werden im nachfolgenden Abschnitt 4.5.1.2 vorgestellt.

4.5.1.2 Ergebnis

Die Anwendung der Forschungsmethodik liefert 13 Gestaltungsprinzipien für die Verwertung von Betriebsdaten-Analysen in der strategischen Produktplanung. Zwei Gestaltungsprinzipien basieren ausschließlich auf den Ergebnissen der Literaturanalyse, fünf auf den Resultaten des Workshops mit dem Forschungskonsortium (WFK). Sieben Gestaltungsprinzipien bauen sowohl auf Literatur- als auch Workshop-Ergebnissen auf. Die Gestaltungsprinzipien und ihre Quellen sind in Tabelle 4-1 aufgeführt. Die Formulierung der Gestaltungsprinzipien lehnt sich an das Schema von GREGOR ET AL. an [GKS20, S. 1632ff.], beschränkt sich aus Gründen der Lesbarkeit aber auf die Angabe der Kernelemente *Ziel*, *Kontext* und *Mechanismen*. Verzichtet wird dabei auf die Benennung des Anwenders der Gestaltungsprinzipien und des Nutzers der damit erschaffenen Artefakte,

¹⁹ Folgende Artikel wurden identifiziert: [EOG20], [GSS22], [GAC21], [HNM+21], [LSV+21], [NBK21], [PLS+19], [RBC+17], [RBY+19], [TZY+19] und [ZZZ+22].

²⁰ Weitere Informationen zu der systematischen Literaturanalyse sind der entsprechenden Vorveröffentlichung zu entnehmen [MFK+22b, S. 3f.].

da diese Rollen bei allen Gestaltungsprinzipien durch die verantwortlichen Produktmanager und -planer ausgefüllt werden. Für die theoretische oder empirische Rechtfertigung der Gestaltungsprinzipien wird auf die entsprechenden Quellen verwiesen. Einzelne Akteure zur Umsetzung der Mechanismen werden in den Gestaltungsprinzipien nur benannt, sofern dies sinnvoll erscheint.

Tabelle 4-1: Gestaltungsprinzipien für die Verwertung von Datenanalysen in der strategischen Produktplanung [MFK+22b, S. 4f.]

Nr.	Gestaltungsprinzipien für die Verwertung von Datenanalysen in der strategischen Produktplanung
1	Bilde ein heterogenes Team: Um eine ausgewogene Verwertung der Datenanalyse-Ergebnisse in der Produktplanung zu erzielen, bilde ein heterogenes Team. Berücksichtige dafür verschiedene Hierarchieebenen, Abteilungen und Disziplinen sowie interne und externe Experten [GAC21, S. 20], [WFK].
2	Kontextualisiere die Datenanalyse-Ergebnisse: Um Fehlinterpretationen und -schlüsse während des Interpretationsprozesses zu vermeiden, kontextualisiere die Datenanalyseergebnisse. Analysiere dafür die Anzahl und Heterogenität der untersuchten Kunden und Produkte, die Qualität und Quantität der gesammelten Daten, die Umfeld-, Zeit- und Kontextfaktoren der Datenerhebung, die Limitationen der Analyse und die tatsächliche Bedeutung der Analyseergebnisse [RBC+17, S. 7], [LSV+21, S. 11], [WFK].
3	Markiere beachtenswerte Aspekte: Um bei der Präsentation der Datenanalyse-Ergebnisse vor dem Team die relevanten Punkte aus der Vielzahl der Ergebnisse zu betonen, markiere beachtenswerte Aspekte wie statistische Werte oder spezifische KPIs in den bereitgestellten Diagrammen [NBK21, S. 12], [RBY+19, S. 477].
4	Decke Wahrnehmungsverzerrungen und Subjektivität auf: Um einseitige und irreführende Interpretationen der Datenanalyse-Ergebnisse zu verhindern, decke Wahrnehmungsverzerrungen und Subjektivität auf. Untersuche dafür die Aufbereitung der Ergebnisse sowie die Absichten der Teammitglieder und verhindere eine frühzeitige Bestätigung bestehender Annahmen, sich selbst erfüllende Prophezeiungen sowie das Verdrehen von Ergebnissen im Sinne eines gewünschten Narrativs [WFK].
5	Beziehe Produktexperten in die Bewertung von Datenanalyse-Ergebnissen ein: Um die Bedeutung und die Konsequenzen der Datenanalyse-Ergebnisse für das Produkt zu klären, beziehe Produktexperten in die Bewertung der Datenanalyse-Ergebnisse ein, damit sie diese erklären, ihre Zuverlässigkeit einschätzen sowie Implikationen und Konsequenzen ableiten [HNM+21, S. 21f.], [GAC21, S. 20], [WFK].
6	Validiere die Interpretationen: Um Vertrauen für auswirkungsstarke strategische Entscheidungen in der strategischen Produktplanung zu schaffen, validiere die Interpretationen der Datenanalyse-Ergebnisse. Vergleiche sie dafür mit vorhandenem Domänenwissen, untersuche ihre Kompatibilität mit bekannten Kunden- und Nutzerbedürfnissen sowie bestehenden Annahmen des Produktmanagements und prüfe ihre Konformität mit bestehenden Normen, Gesetzen und Budgets [HNM+21, S. 22], [PLS+19, S. 553], [WFK].
7	Kombiniere die Erkenntnisse der Datenanalyse mit Domänenwissen: Um innovative und realisierbare neue Lösungen für die Produktverbesserung zu finden, kombiniere die Erkenntnisse der Datenanalyse mit Domänenwissen. Beziehe dafür Domänenexperten mit umfangreicher praktischer Erfahrung ein und lasse sie auf Grundlage der Datenanalyse-Ergebnisse neue Lösungen entwickeln [ZZZ+22, S. 5], [EOG20].
8	Modelliere neue Lösungen: Um vor einer strategischen Entscheidung ein besseres Verständnis für die neuen Lösungen und ihre Auswirkungen auf das Produkt zu schaffen, modelliere neue Lösungen. Visualisiere dafür die notwendigen Modifikationen und die daraus resultierenden Konsequenzen in bestehenden Modellen [ZZZ+22, S. 5], [WFK].
9	Führe eine kriterienbasierte Bewertung der Lösungsalternativen durch: Um Erfolg versprechende neue Lösungen für die Produktverbesserung auszuwählen, führe eine kriterienbasierte Bewertung der Lösungsalternativen durch. Berücksichtige dabei Kosten, Nutzen, Risiken, Auswirkungen auf das Unternehmen, Anpassungsoptionen und Implementierungspläne für jede Lösung [ZZZ+22, S. 4f.], [EOG20], [GSS22, S. 13], [WFK].
10	Überprüfe die Konsistenz von Lösungen und Datenanalyse-Ergebnissen: Um die Ausschöpfung der identifizierten Verbesserungspotentiale sicherzustellen, überprüfe die Konsistenz von Lösungen und Datenanalyse-Ergebnissen. Analysiere dafür die Auswirkungen der Lösungen auf die Ergebnisse und identifiziere zukünftige Datenbedarfe, um ihre Eignung im Betrieb zu prüfen [WFK].
11	Modifiziere bestehende Artefakte: Um die Konsequenzen der Datenanalyse-Ergebnisse zu spezifizieren, modifiziere bestehende Artefakte. Ändere dafür bestehende Aspekte (z. B. bestimmte bestehende Ziele) oder ergänze neue Aspekte (z. B. neue Ziele) in den betreffenden Artefakten (z. B. im Zielsystem) [WFK].
12	Hebe datenbezogene Aspekte hervor: Um die Validität von Artefakten rund um das Produkt zu verdeutlichen, hebe datenbezogene Aspekte hervor. Kennzeichne sie dafür, beschreib ihren Ursprung und ihre Gründe und merke zukünftig mit Daten zu untersuchende Aspekte vor [WFK].
13	Fasse den Prozess und die Ergebnisse zusammen: Um den Verwertungsprozess und seine Ergebnisse für Unbeteiligte zugänglich zu machen, fasse den Prozess und die Ergebnisse zusammen. Beschreib dafür den Use Case, die Datensammlung, die Datenanalyse und die Verwertung in einer für die Kommunikation geeigneten Terminologie [GSS22, S. 13], [TZY+19], [EOG20], [ZZZ+22, S. 4], [WFK].

4.5.2 Vorgehensmodell

Das Vorgehensmodell beschreibt, wie die Verwertung von Betriebsdaten-Analysen in der strategischen Produktplanung abläuft. Die im vorherigen Abschnitt identifizierten Gestaltungsprinzipien konkretisieren dabei die Phasen des vierten Hauptprozesses der Betriebsdaten-gestützten Produktplanung. Produktmanager werden mit dem Vorgehensmodell befähigt, produktstrategische Entscheidungen aus den Ergebnissen von Datenanalysen abzuleiten. Das Vorgehen gestaltet sich wie folgt:

- (1) In der **Ergebnis-Interpretation** werden zunächst der Kontext und die Limitationen von Datenerhebung und -analyse aufgenommen. Danach werden die Ergebnisse der Datenanalyse beschrieben und erklärt. Abschließend werden Erkenntnisse und Verbesserungspotentiale für neue Produktgenerationen abgeleitet.
- (2) Die **Zielsystem-Überarbeitung** dient der Analyse der Auswirkungen der Datenanalyse-Ergebnisse auf das Zielsystem der Produktvision. Es werden ein überarbeitetes Zielsystem aufgestellt, Zielkonflikte aufgelöst und Bedarfe für neue Lösungen erfasst.
- (3) In der **Ideenfindung** werden zuerst zahlreiche Ideen zur Erschließung der Verbesserungspotentiale generiert. Nach einer Clusterung und Vorauswahl werden die verbleibenden Ideen durch Modellierung konkretisiert und abschließend bewertet. Das Ergebnis sind ausgewählte Ideen für neue Produktgenerationen.
- (4) Die **Umsetzungsplanung** umfasst schwerpunktmäßig die Prüfung der Auswirkungen der Betriebsdaten-Analyse auf die Produktstrategie. Dabei werden auch die neuen Ziele und Ideen auf die geplanten neuen Produktgenerationen verteilt. Abschließend wird der Verwertungsprozess zusammengefasst.

In Bild 4-27 ist dieses Vorgehen visuell dargestellt. In den folgenden Abschnitten werden die vier Phasen ausführlich beschrieben. Das Vorgehen wurde in [MPW+23c] vorab veröffentlicht.

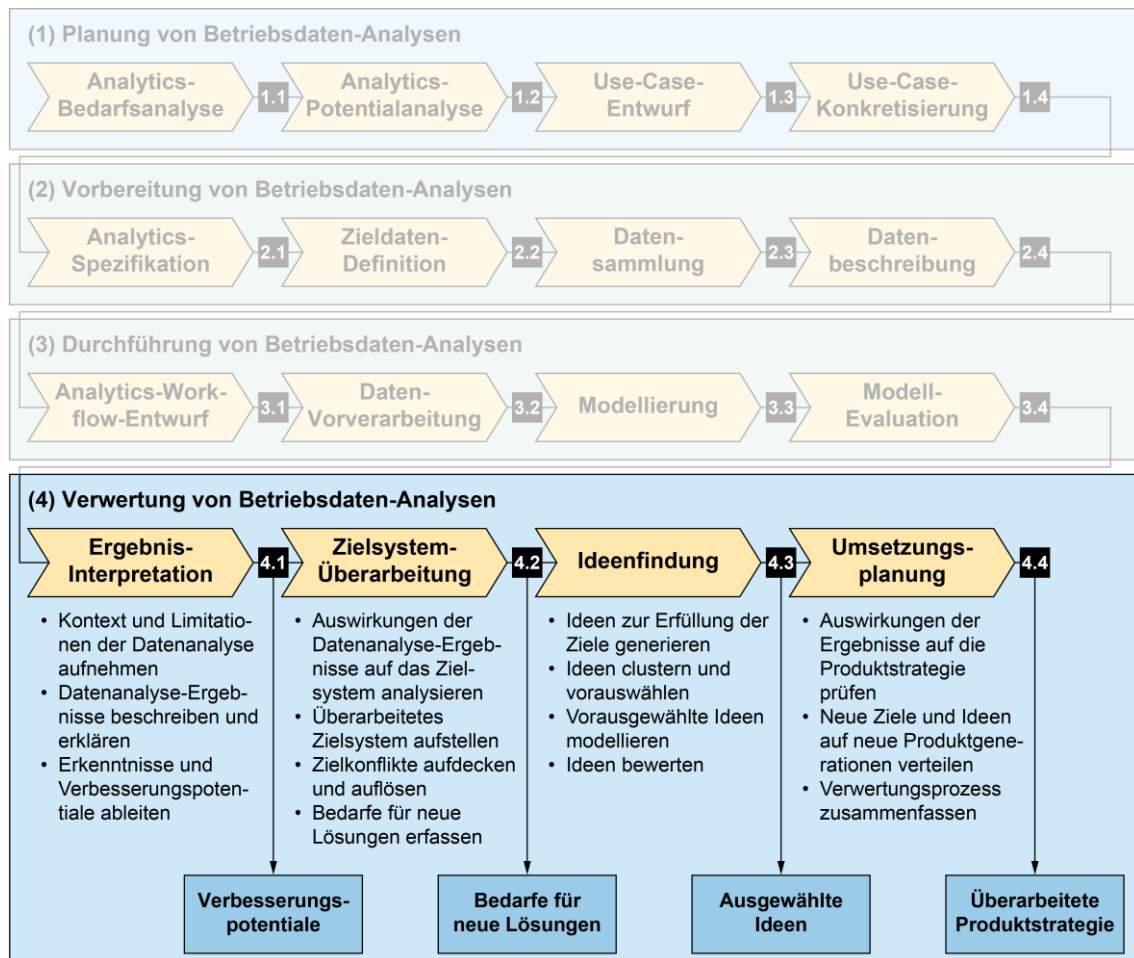


Bild 4-27: Vorgehensmodell für die Verwertung von Betriebsdaten-Analysen in der strategischen Produktplanung

4.5.2.1 Ergebnis-Interpretation

Die erste Phase der Methode zur Verwertung von Betriebsdaten-Analysen in der strategischen Produktplanung ist die Ergebnis-Interpretation. In dieser Phase werden Erkenntnisse aus den Datenanalyse-Ergebnissen gewonnen und konkrete Verbesserungspotentiale für neue Produktgenerationen aufgedeckt. Dies wird durch die Leitfrage repräsentiert: *Was bedeuten die Ergebnisse der Betriebsdaten-Analyse für neue Produktgenerationen?*

Die systematische Interpretation von Datenanalyse-Ergebnissen besteht aus drei Schritten. Zuerst stehen die Beschreibung und Diskussion des Kontexts und der Limitationen von Datenerhebung und -analyse im Fokus. Danach finden eine Beschreibung und Bewertung der Datenanalyse-Ergebnisse statt. Zuletzt werden Erkenntnisse und Verbesserungspotentiale für neue Produktgenerationen aus den Ergebnissen abgeleitet.

Die Beschreibung und Diskussion des Kontexts und der Limitationen von Datenerhebung und -analyse repräsentieren eine wichtige Voraussetzung für die verlässliche Interpretation der Datenanalyse-Ergebnisse. Eine Missachtung von Kontext und Limitationen stellt eine wahrscheinliche Quelle von Fehlinterpretationen dar. Aus diesem Grund wird in diesem Schritt präzise erfasst, in welchem Kontext die Datenerhebung stattfand (z. B. bei zehn ausgewählten Kunden) und welchen Limitationen sie unterlag (z. B. keine Daten osteuropäischer Kunden). Daraufhin werden das Vorgehen zur Datenanalyse beschrieben und dessen Limitationen aufgezeigt. Abschließend wird diskutiert, wie gut sich die erhobenen Daten und das gewählte Datenanalyse-Vorgehen für die Beantwortung der vorliegenden Fragestellungen eignen.

Aufbauend auf dem Kontext und den Limitationen folgen die Beschreibung und Bewertung der Datenanalyse-Ergebnisse. Dabei ist besonders darauf zu achten, ob die im Use-Case-Entwurf definierten Erfolgskriterien erfüllt sind. Zuerst wird dafür beschrieben, was die Ergebnisse genau darstellen und welche Auffälligkeiten sich dabei zeigen (z. B. regelmäßige Einstellungsänderungen durch die Nutzer). Dann erörtern Produktmanager und Analytics-Experte gemeinsam, was die Ergebnisse tatsächlich aussagen – und was nicht (z. B. Nutzer ändern regelmäßig die Einstellungen, die Gründe sind aber nicht bekannt). Sind diese Aussagen klar erfasst, werden die Plausibilität und die Sicherheit der identifizierten Zusammenhänge bewertet. Dabei wird untersucht und diskutiert, inwieweit die Ergebnisse der Datenanalyse von den Parametern der Datenerhebung und -analyse beeinflusst wurden und inwieweit eine Verallgemeinerung möglich ist. Zum Abschluss wird geprüft, inwiefern und in welchem Ausmaß etwaige Biases (Wahrnehmungsverzerrungen) die Bewertung der Datenanalyse-Ergebnisse beeinflussen.

Im Anschluss an die umfassende Beschreibung und Bewertung der Datenanalyse-Ergebnisse richtet sich der Fokus auf die Erarbeitung von Erkenntnissen und Verbesserungspotentialen. Erkenntnisse repräsentieren dabei eine Erweiterung des bisherigen Wissensstands. Zunächst wird demnach untersucht, welches neue Wissen die Datenanalyse-Ergebnisse beinhalten (z. B. neue Verhaltensmuster der Nutzer). Daraufhin werden Schlussfolgerungen und Implikationen der Datenanalyse-Ergebnisse und Erkenntnisse diskutiert (z. B. das Produkt erfüllt die Nutzerwünsche nicht mehr vollständig). Um die Verlässlichkeit dieser Schlussfolgerungen und Implikationen sicherzustellen, werden sie mit Informationen und Wissen aus anderen Quellen abgesichert (z. B. persönliche Erfahrungen von Produktexperten oder Ergebnisse einer aktuellen Kundenumfrage). Zuletzt werden die konkreten Verbesserungspotentiale für die Planung neuer Produktgenerationen in einer Diskussion ermittelt (z. B. mehr individuelle Konfigurationsmöglichkeiten des Produkts). Die Erkenntnisse, Schlussfolgerungen, Implikationen und Verbesserungspotentiale fließen in die nachfolgende zweite Phase ein.

Umgesetzt wird die Interpretation der Datenanalyse-Ergebnisse in einem Workshop mit einem heterogenen Team. Insbesondere die Interpretation ist auf möglichst unterschiedliche Perspektiven auf das Problem angewiesen. Die Heterogenität des Teams kann z. B.

durch die Teilnahme von Mitarbeitern unterschiedlicher fachlicher Hintergründe, Abteilungen und Hierarchieebenen sichergestellt werden. Aber auch die gezielte Einbindung von Externen kann hilfreich sein [MFK+22b, S. 4]. Methodisch wird die Interpretation der Datenanalyse-Ergebnisse mit einem Interpretations-Canvas unterstützt. Dieses stellt für jeden der drei Schritte einen eigenen Bereich mit Leitfragen zur Verfügung, um eine umfassende Interpretation und Diskussion der Datenanalyse-Ergebnisse zu gewährleisten. Die Leitfragen folgen aus den Gestaltungsprinzipien mit Bezug zur Ergebnis-Interpretation. Bild 4-28 zeigt das Interpretations-Canvas mit den Leitfragen.

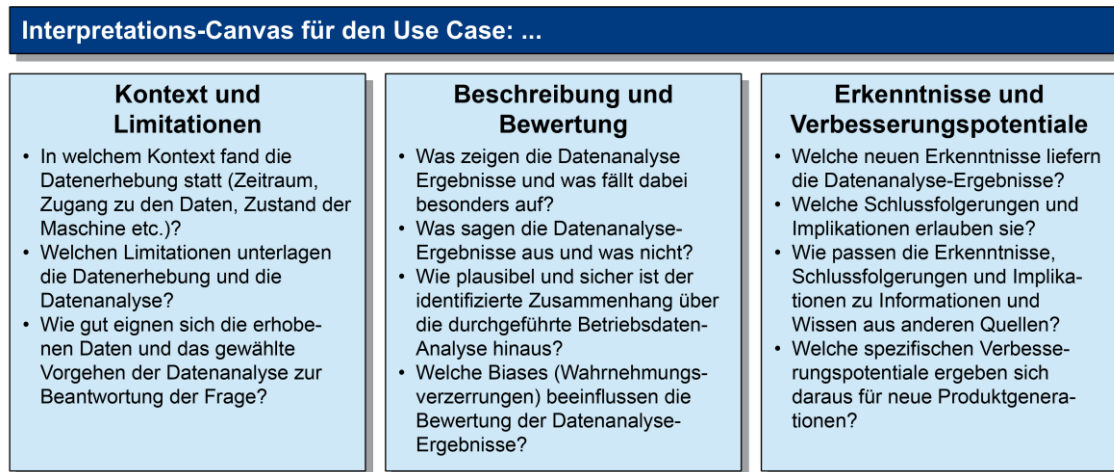


Bild 4-28: Interpretations-Canvas mit Leitfragen

4.5.2.2 Zielsystem-Überarbeitung

Die zweite Phase der Methode dient der Zielsystem-Überarbeitung. Dabei wird geprüft, welche Auswirkungen die Erkenntnisse der Datenanalyse und die identifizierten Verbesserungspotentiale auf das visionäre Zielsystem haben (Abschnitt 4.2.2). Entsprechend dieser Auswirkungen wird das visionäre Zielsystem der neuen Produktgenerationen überarbeitet und es werden Bedarfe für neue Lösungen abgeleitet. Die Leitfrage lautet daher: *Wie müssen wir unser ursprüngliches Zielsystem vor dem Hintergrund der Ergebnisse der Betriebsdaten-Analyse überarbeiten?*

Zu Beginn werden die Erkenntnisse, Schlussfolgerungen, Implikationen und Verbesserungspotentiale dem visionären Zielsystem der neuen Produktgenerationen gegenübergestellt. Neben dem Produktprofil der Produktvision kann das visionäre Zielsystem auch weitere Elemente enthalten. EBEL nennt unter anderem Anforderungen, Anwendungsfälle, Funktionen und Stakeholder als Partialmodelle des Zielsystems [Ebe15, S. 152ff.]. Für jedes Element des Zielsystems wird analysiert, ob und welche Auswirkungen die Erkenntnisse, Schlussfolgerungen und Implikationen der Betriebsdaten-Analyse sowie die aus ihnen abgeleiteten Verbesserungspotentiale auf das jeweilige Element haben. Dabei werden z. B. Widersprüche zwischen Erkenntnissen der Betriebsdaten-Analyse und einigen Zielsystem-Elementen identifiziert. Systematisch wird diese Gegenüberstellung mit

einer Matrix vorgenommen, in der die Zielsystem-Elemente in den Zeilen und die Erkenntnisse, Schlussfolgerungen, Implikationen und Verbesserungspotentiale in den Spalten aufgetragen werden. In den jeweiligen Schnittpunkten wird anschließend paarweise bewertet, ob und in welchem Umfang die Zielsystem-Elemente durch die Betriebsdaten-Analyse beeinflusst werden.

Im Anschluss folgt die Aufstellung des überarbeiteten Zielsystems. Dafür werden die Zielsystem-Elemente vor dem Hintergrund der Betriebsdaten-Analyse und ihrer Auswirkungen aktualisiert. Folgende Operationen sind dabei aufbauend auf den Zielsystem-Operationen nach MEBOLDT möglich [Meb08, S. 188f.]: (1) Zielsystem-Elemente werden aus dem ursprünglichen in das überarbeitete Zielsystem übernommen; (2) Zielsystem-Elemente werden in veränderter Form aus dem ursprünglichen Zielsystem in das überarbeitete Zielsystem überführt; (3) Neue Zielsystem-Elemente, die aus den Erkenntnissen, Schlussfolgerungen, Implikationen und Verbesserungspotentialen folgen, werden im überarbeiteten Zielsystem ergänzt; (4) Zielsystem-Elemente des ursprünglichen Zielsystems werden nicht in das überarbeitete Zielsystem übernommen, sondern entfernt. Bild 4-29 zeigt diese Operationen zur Überarbeitung des Zielsystems prinzipiell.

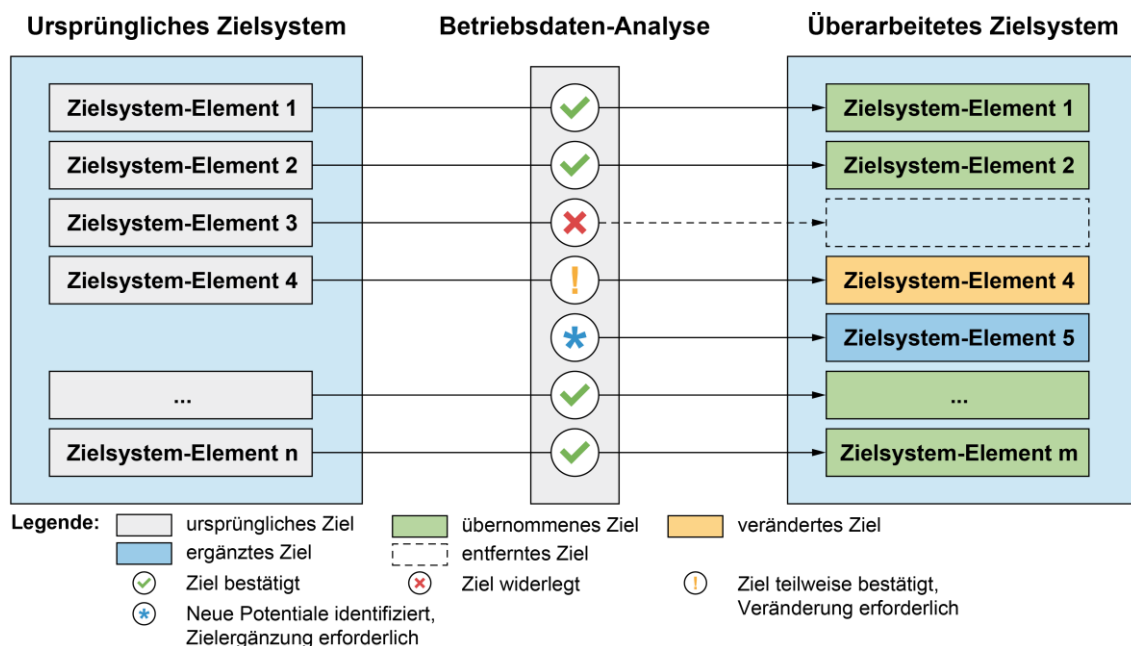


Bild 4-29: Überarbeitung des Zielsystems mit Betriebsdaten-Analysen

Nach der Aufstellung des überarbeiteten Zielsystems ist es auf Zielkonflikte zu prüfen. Unter einem Zielkonflikt wird die Inkonsistenz von mindestens zwei Zielen verstanden, d. h. sie sind miteinander unvereinbar [Meb08, S. 189]. Zielkonflikte werden in Anlehnung an PONN und LINDEMANN mit einer Korrelationsmatrix der einzelnen Zielsystem-Elemente untersucht [PL11, S. 49f.]. Diese dient der paarweisen Prüfung der Beziehungen der Zielsystem-Elemente. Bild 4-30 zeigt eine exemplarische Korrelationsmatrix. Konflikte innerhalb des Zielsystems werden durch die oben beschriebenen Operationen aufgelöst.

Korrelationsmatrix

Fragestellung:

„Wie beeinflussen sich Ziel i (Zeile) und Ziel j (Spalte)?“

Bewertungsskala:

1 = stark negative Beeinflussung

2 = negative Beeinflussung

3 = neutral oder voneinander unabhängig

4 = positive Beeinflussung

5 = stark positive Beeinflussung

Ziele

Nr.

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

Zeiteinsparungen

1

Hohe Produktqualität

2

4

Geringe Anschaffungskosten

3

2

1

Hohe Verfügbarkeit

4

5

5

1

Unkomplizierte Bedienung

5

4

3

3

3

Konfigurierbarkeit

6

4

3

2

3

2

Ansprechendes Design

7

3

4

2

3

3

3

Kompaktes Design

8

3

3

2

3

3

3

2

Geringer Energieverbrauch

9

1

3

2

3

3

2

3

3

Konnektivität

10

4

3

1

3

5

4

3

2

3

1

Hohe Produktqualität setzt hochwertige Komponenten voraus. Diese sind jedoch teuer im Einkauf, was die Anschaffungskosten erhöht.

3

Die Ziele Ansprechendes Design und Konfigurierbarkeit sind voneinander unabhängig.

5

Konnektivität ermöglicht die unkomplizierte Bedienung per nutzerfreundlichem App-Interface.

Bild 4-30: Korrelationsmatrix zur Aufdeckung von Zielkonflikten in Anlehnung an PONN und LINDEMANN [PL11, S. 49]

Sind alle Inkonsistenzen innerhalb des Zielsystems beseitigt, werden die vorgenommenen Veränderungen in einer Liste zusammengefasst. Diese umfasst alle Punkte, die in Folge der Betriebsdaten-Analyse neue Lösungen für die geplanten Produktgenerationen erfordern. Diese Bedarfe für neue Lösungen sind der Ausgangspunkt für die sich anschließende Phase der Ideenfindung.

4.5.2.3 Ideenfindung

Die Ideenfindung stellt die dritte Phase der Methode dar. In dieser Phase werden neue Ideen zur Erschließung der identifizierten Verbesserungspotentiale und Erfüllung der Ziele für neue Produktgenerationen gesucht, bewertet und ausgewählt. Dies äußert sich in der folgenden Leitfrage: *Mit welchen Ideen können wir die identifizierten Verbesserungspotentiale für neue Produktgenerationen erschließen?*

Aufbauend auf den eher analytischen Phasen der Ergebnis-Interpretation und Zielsystem-Überarbeitung steht in der Ideenfindung die Kreativität im Fokus. Das Vorgehen ist an die vier letzten Phasen des Vorgehens bei Ideation Events nach GAUSEMEIER ET AL. angelehnt: Ideengenerierung, Clustering, Erprobung und Auswahl [GDE+19, S. 198f.].

Zuerst steht die Ideengenerierung im Vordergrund. Da die kreative Leistung mit fortschreitendem Berufsalter abnimmt, ist dabei die gezielte Anwendung von Kreativitätstechniken zur Erhöhung der Kreativität erforderlich [GDE+19, S. 182]. Dabei bieten sich je nach Situation verschiedenste Kreativitätstechniken an, die unterschiedliche Ansätze

zur Steigerung der kreativen Leistung verfolgen und z. B. eher das intuitive oder das diskursive Denken unterstützen [FG13, S. 353ff.], [EM13, S. 431ff.]. In Bild 4-31 ist eine Auswahl bewährter Kreativitätstechniken dargestellt. Sortiert ist diese Auswahl danach, ob die Kreativitätstechniken eher das intuitive Denken, das diskursive Denken oder beides ausgeglichen unterstützen. Weitere Informationen zu den einzelnen Kreativitätstechniken liefern z. B. GAUSEMEIER ET AL. [GDE+19, S. 185f.].

Intuitives Denken	Ausgeglichen intuitiv-diskursives Denken	Diskursives Denken
Brainstorming	Laterales Denken	Morphologischer Kasten
Brainwriting	Design Thinking	Analyse bekannter technischer Systeme
Methode 365	Delphi-Methode	Bionik
Analogiebildung	TRIZ	Konstruktionskataloge

Bild 4-31: Auswahl an Kreativitätstechniken für die Unterstützung des intuitiven, des diskursiven und des ausgeglichen intuitiv-diskursiven Denkens aufbauend auf der Einordnung nach GAUSEMEIER ET AL. [GDE+19, S. 184]

Unabhängig von der konkreten Wahl der Kreativitätstechnik werden in diesem Schritt möglichst viele und vielfältige Ideen generiert. In Abhängigkeit davon, wie viele Ideen dabei schließlich entstehen, wird ein Clustering oder eine erste Vorauswahl durchgeführt [GDE+19, S. 198]. Damit werden ähnliche Ideen kombiniert, unrealistische Ideen eliminiert und die Gesamtmenge auf die wesentlichen Ideen reduziert. Für das Clustering bietet sich in Workshops die visuelle Organisation der Ideen nach ihrer Ähnlichkeit an. Für die Vorauswahl sind pragmatische Methoden wie das Punktekleben zu empfehlen.

Die verbleibende Auswahl an Ideen wird daraufhin durch Modellierung konkretisiert. Dies unterstützt den Aufbau eines gemeinsamen Verständnisses und die Beurteilbarkeit der Ideen. Beispielsweise gibt die Modellierung einer Idee in einem CONSENS-Wirkstrukturmodell des betrachteten Produkts erste Hinweise darauf, welche Aufwände eine Entscheidung für diese Idee nach sich ziehen würde.

An die Modellierung schließt sich die systematische Bewertung der vorausgewählten Ideen an. Hierzu wird eine Nutzwertanalyse durchgeführt. Diese Methode bietet ein strukturiertes Verfahren zur Identifizierung der bestmöglichen Lösung aus einer Reihe an Alternativen, insbesondere wenn vielfältige Aspekte und Kriterien zu berücksichtigen und zahlreiche Personen am Entscheidungsprozess beteiligt sind [Küh19, S. 1]. Die Entscheidungsalternativen sind durch die vorausgewählten Ideen bereits vorgegeben. Vor der Durchführung der Nutzwertanalyse werden die Entscheidungskriterien ausgewählt und gewichtet. Beispiele für Entscheidungskriterien sind der Änderungsaufwand und das Geschäftspotential. Die Gewichtung kann anhand mehrerer Methoden erfolgen (z. B. 10er-Skala oder Schulnoten). KÜHNAPFEL stellt dafür einige alternative Methoden vor [Küh19,

S. 10ff.]. Anschließend werden die Entscheidungsalternativen und Bewertungskriterien in einer Matrix gegenübergestellt. Jede Entscheidungsalternative wird anhand jedes Bewertungskriteriums bewertet, sodass am Ende die Summe über alle Einzelbewertungen für jede Entscheidungsalternative berechnet werden kann. Ein Beispiel für eine Nutzwertanalyse zeigt Bild 4-32.

Bewertungs-kriterien	Gew.	Leistungsstärkere Brüheinheit		Touch-Display		Größere Tropfschale	
		Bewertung	Punktwert	Bewertung	Punktwert	Bewertung	Punktwert
Innovationsgrad	0,15	2	0,3	9	1,35	1	0,15
Usability	0,35	4	1,4	6	2,1	6	2,1
Kosten	0,2	5	1	3	0,6	10	2
Aufwand	0,3	9	2,7	1	0,3	7	2,1
Summe	1		5,4		4,35		6,35

Gew.: Gewichtung

Bild 4-32: Nutzwertanalyse von Ideen am Beispiel einer Kaffeemaschine in Anlehnung an [Küh19, S. 19]

Alle Ideen werden abschließend in einem Steckbrief zusammengefasst. Der Steckbrief dient als Entscheidungsgrundlage für die Auswahl der Ideen, die in die letzte Phase übernommen werden sollen. Einen bedeutenden Einfluss darauf hat das jeweilige Ergebnis der Nutzwertanalyse. Bild 4-33 zeigt einen exemplarisch ausgefüllten Ideensteckbrief.

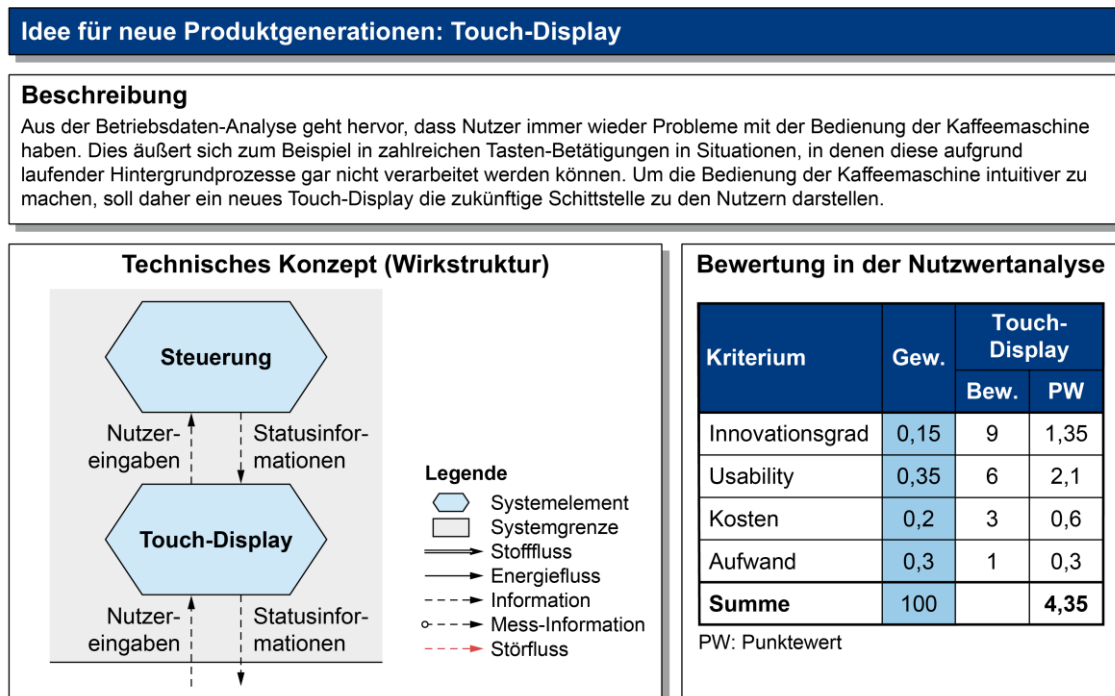


Bild 4-33: Ideensteckbrief zur Beschreibung Erfolg versprechender Ideen

4.5.2.4 Umsetzungsplanung

Gegenstand der vierten Phase der Methode ist die Umsetzungsplanung. Diese behandelt die Integration der bisherigen Ergebnisse in die Produktstrategie. Die Leitfrage lautet: *Wie sollen wir unsere Produktstrategie vor dem Hintergrund der Betriebsdaten-Analyse und der daraus abgeleiteten Erkenntnisse und Ergebnisse überarbeiten?*

Zu Beginn dieser Phase steht die Prüfung, welche Auswirkungen die Erkenntnisse der Betriebsdaten-Analyse, die identifizierten Verbesserungspotentiale, das überarbeitete Zielsystem und die ausgewählten Ideen auf die Produktstrategie haben. Diese beschreibt nach GAUSEMEIER ET AL. im Wesentlichen drei Handlungsfelder [GDE+19, S. 315]:

- (1) **Differenzierung im Wettbewerb:** Dieses Handlungsfeld umfasst Fragen zur Positionierung des Produkts im Markt. Aufgaben sind z. B. die Ermittlung von Differenzierungsmerkmalen sowie notwendiger Produktvarianten [GDE+19, S. 315].
- (2) **Bewältigung der Variantenvielfalt:** In diesem Handlungsfeld geht es um die profitable Gestaltung der notwendigen Produktvarianten. Dies ist mit geeigneten Maßnahmen zu unterstützen [GDE+19, S. 315].
- (3) **Erhaltung des Wettbewerbsvorsprungs:** Dieses Handlungsfeld fokussiert die Produktevolution. Es gilt festzulegen, wie sich das Produkt im Laufe der Zeit weiterentwickeln soll, damit es auch langfristig erfolgreich ist [GDE+19, S. 315].

Besteht eine Produktstrategie in dieser Form noch nicht, stellen GAUSEMEIER ET AL. zahlreiche Methoden zur Ausgestaltung der drei Handlungsfelder vor [GDE+19, S. 315ff.]. Sofern eine solche Produktstrategie besteht, werden die Erkenntnisse der Betriebsdaten-Analyse, die identifizierten Verbesserungspotentiale, das überarbeitete Zielsystem und die ausgewählten Ideen den drei Handlungsfeldern gegenübergestellt. Mit dieser Gegenüberstellung wird geprüft, welche Änderungen der Produktstrategie in Folge der Betriebsdaten-Analyse notwendig werden. Z. B. kann sich durch ein identifiziertes Verbesserungspotential und eine zugehörige Idee eine neue Chance zur Differenzierung im Wettbewerb ergeben, die mit einer neuen Produktvariante erschlossen werden soll. Die Überarbeitung der Produktstrategie stellt Bild 4-34 dar.

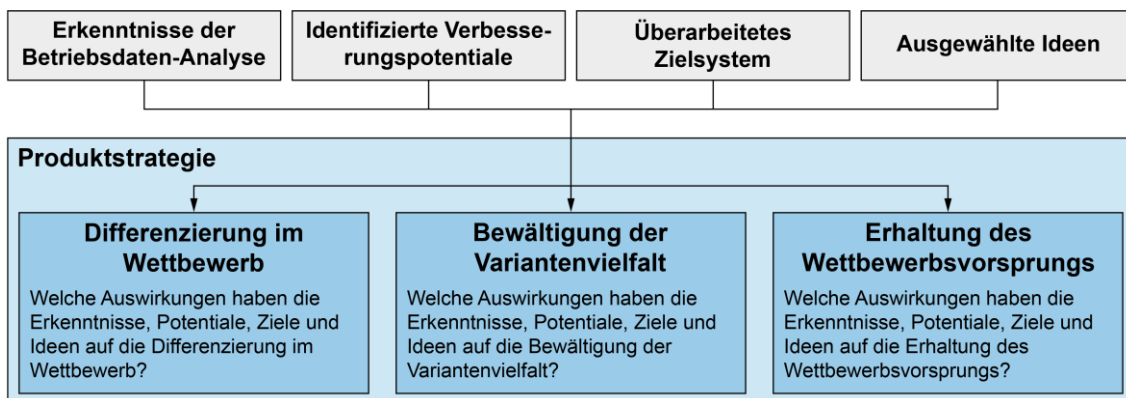


Bild 4-34: Überarbeitung der Produktstrategie

Im Handlungsfeld *Differenzierung im Wettbewerb* wird diskutiert, welche neuen Differenzierungsmerkmale sich aus der Betriebsdaten-Analyse ergeben – im Vergleich zur eigenen Vorgängergeneration und zum Wettbewerb. Das Produkt soll sich dabei der angestrebten Vision annähern. Außerdem wird überprüft, ob die Datenanalyse-Ergebnisse neue Varianten des Produkts erforderlich machen, die es am Markt anzubieten gilt.

Für das Handlungsfeld *Bewältigung der Variantenvielfalt* wird analysiert, wie sich die bestehende Produktarchitektur und -struktur verändern muss, um die aus der Betriebsdaten-Analyse resultierenden Änderungsbedarfe wirtschaftlich umzusetzen.

Im Handlungsfeld *Erhaltung des Wettbewerbsvorsprungs* werden die in den vorherigen Phasen identifizierten Ziele und Ideen den bereits geplanten Produktgenerationen zugewiesen. Es ist dabei zu beachten, dass jede neue Produktgeneration eine ausreichende Nutzensteigerung zu ihrer Vorgängergeneration verspricht. Diese muss Kunden begeistern und zum Kauf motivieren. Darüber hinaus ist das Entwicklungsrisiko der neuen Produktgenerationen zu begrenzen. Andernfalls wird es nicht gelingen, regelmäßig und pünktlich neue Produktgenerationen an den Markt zu bringen, mit denen das Entwicklungsbudget eingehalten wird. Die Aufgabe besteht demnach darin, die Kombinationen aus Zielen und Ideen derart auf die geplanten neuen Produktgenerationen zu verteilen, dass jede Produktgeneration das notwendige Begeisterungspotential und ein vertretbares Entwicklungsrisiko besitzt [MHK+21, S. 465].

Die Verteilung der Ziel-Ideen-Kombinationen (ZIK) auf die geplanten Produktgenerationen wird methodisch mit einem Innovationsportfolio in Anlehnung an HEISMANN unterstützt [Hei10, S. 122f.]. Ein solches wird für jede geplante Produktgeneration aufgestellt. Zur Aufstellung des Portfolios werden die bereits vor der Betriebsdaten-Analyse geplanten ZIK einer geplanten Produktgeneration hinsichtlich ihres erwarteten Kunden-, Anbieter- und Anwendernutzens sowie ihres erwarteten Entwicklungsrisikos bewertet. Die Bewertungsskala umfasst die Ausprägungen niedrig, mittel und hoch. Entsprechend der Bewertungen werden die ZIK in das Innovationsportfolio einsortiert. Das resultierende Portfolio veranschaulicht, wie viele Begeisterung erzeugende und wie viele Risiken bergende ZIK bisher für die betrachtete Produktgeneration geplant sind – ohne die ZIK, die aus der Betriebsdaten-Analyse hervorgehen. Unterschiedliche Farben stellen die Variationsarten der ZIK dar. So wird deutlich, welche ZIK ohne Veränderungen von der Vorgänger-Generation übernommen werden, welche mit Veränderungen und welche sogar gänzlich neu sind. Ein resultierendes Innovationsportfolio zeigt Bild 4-35 exemplarisch für eine Produktgeneration G_{n+1} .

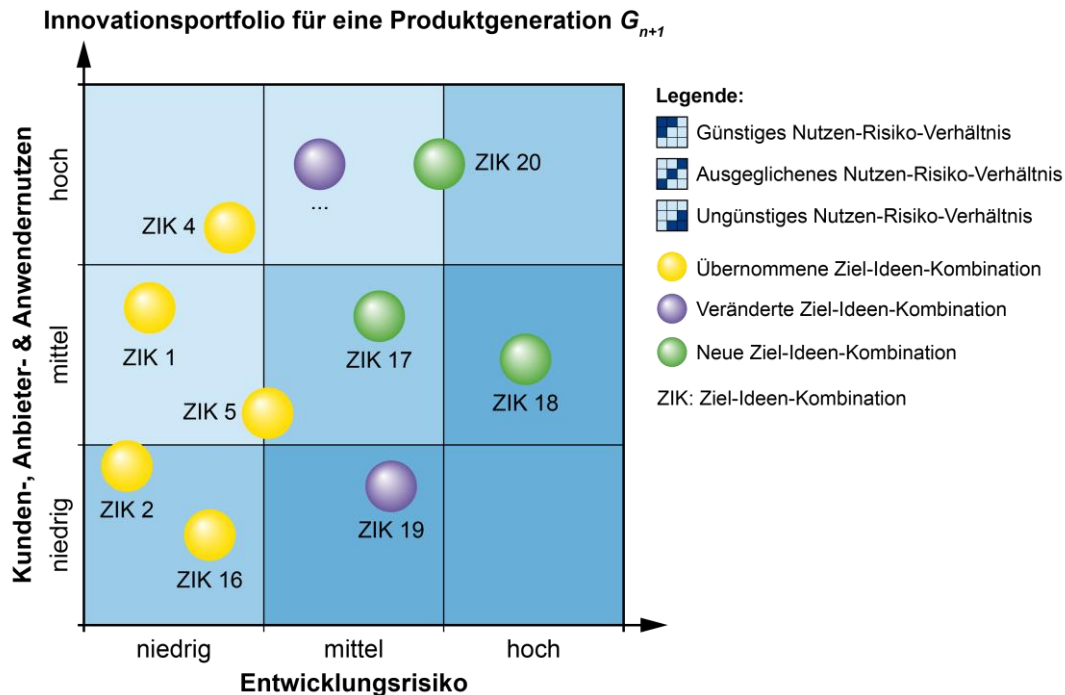


Bild 4-35: Exemplarisches Innovationsportfolio für eine Produktgeneration G_{n+1} in Anlehnung an HEISMANN [Hei10, S. 123]

Aufbauend auf diesen Innovationsportfolios werden die aus der Betriebsdaten-Analyse resultierenden ZIK den geplanten Produktgenerationen zugeordnet. Dabei ist zu beachten, dass jede Generation ein ausgeglichenes Nutzen-Risiko-Verhältnis aufweisen soll. Idealerweise werden im Vorfeld Zielwerte für den Kunden-, Anbieter- und Anwendernutzen sowie das Entwicklungsrisiko einer jeden Produktgeneration festgelegt. Aus den Innovationsportfolios werden anschließend die aktuellen Planwerte für den Nutzen und das Risiko berechnet. Eine niedrige Nutzen- bzw. Risiko-Bewertung entspricht dabei einer 1, eine mittlere einer 2 und eine hohe Bewertung repräsentiert eine 3. Aus der Summe aller Einzel-Nutzenwerte ergibt sich der aktuelle Nutzen-Planwert der jeweiligen Produktgeneration. Dies gilt ebenso für das Entwicklungsrisiko. Die Differenz von Zielwert und aktuellem Planwert gibt an, wie viel Nutzen- und Risiko-Spielraum eine geplante Produktgeneration noch besitzt. Vor dem Hintergrund dieser Informationen werden die neuen ZIK ebenfalls hinsichtlich ihres Nutzens und Entwicklungsrisikos bewertet und den geplanten Produktgenerationen so zugeordnet, dass deren ermittelte Nutzen- und Risiko-Differenzen minimiert werden. Bild 4-36 stellt das Vorgehen zur Zuordnung der ZIK kompakt dar.

Welche Produktgenerationen sollen die neuen Ziel-Ideen-Kombinationen (ZIK) umsetzen?

Überblick: Aktuell geplante Produktgenerationen

	G_{n+1}	G_{n+2}
Kunden-, Anbieter- und Anwendernutzen		
Zielwert	50	55
Aktueller Planwert	48	40
Differenz	2	15
Entwicklungsrisiko		
Zielwert	50	45
Aktueller Planwert	45	30
Differenz	5	15

Bewertung der ZIK

ZIK	Nutzen	Risiko
I	1 (niedrig)	2 (mittel)
II	3 (hoch)	3 (hoch)
...		

Entscheidungen:

1. ZIK I in G_{n+1} umsetzen
2. ZIK II in G_{n+2} umsetzen
3. ...

Bild 4-36: Zuordnung der Ziel-Ideen-Kombinationen zu den geplanten Produktgenerationen

Den Kunden-, Anbieter- und Anwendernutzen einer ZIK bewertet im Idealfall ein heterogenes Team. Die Bewertung des Entwicklungsrisikos kann mit dem Risiko-Portfolio nach ALBERS ET AL. unterstützt werden. Dieses stellt die Herkunft der Referenzsystem-Elemente und (2) den Neuentwicklungsanteil (Ausprägungs- und Prinzipvariationen) gegenüber, um auf Basis dieser Informationen Hinweise auf das resultierende Entwicklungsrisiko zu geben [ARB+17, S. 351f.]. Soll die Verteilung von ZIK bereits auf konkrete Releases geschehen, stellt das Änderungsklassifizierungs-Portfolio von KÜHN ein bewährtes Hilfsmittel dar [GDE+19, S. 329f.], [Küh17, S. 150ff.].

Zum Abschluss wird die Verwertung der Betriebsdaten-Analyse zusammengefasst. Dies dient der transparenten Kommunikation der Auswirkungen der Betriebsdaten-Analyse auf die strategische Produktplanung. Auch wenn sie kein Teil der Verwertung sind, werden auch der Use Case und die Datenerhebung sowie -analyse beschrieben. Dadurch wird festgehalten, warum die Betriebsdaten-Analyse durchgeführt wurde, was ihr Ziel war, was konkret untersucht wurde und welche Ergebnisse dabei erzielt wurden. Im Anschluss daran folgt die Zusammenfassung der Verwertung der Datenanalyse-Ergebnisse. Angelehnt an Bild 4-14 (Abschnitt 4.4.3.1) wird diese in drei Teile gegliedert: (1) Gewonnene Erkenntnisse über die heutige Situation rund um das Produkt, (2) daraus abgeleitete Überarbeitungen der Produkt-Vision sowie (3) ebenfalls daraus abgeleitete Überarbeitungen der Produktstrategie. Dokumentiert wird die Zusammenfassung der Verwertung der Betriebsdaten-Analyse in Form eines Steckbriefs, den Bild 4-37 darstellt. Dieser Steckbrief stellt das Endergebnis der Methode zur Verwertung von Betriebsdaten-Analysen und damit auch des Referenzprozesses für die Betriebsdaten-gestützte Produktplanung dar.

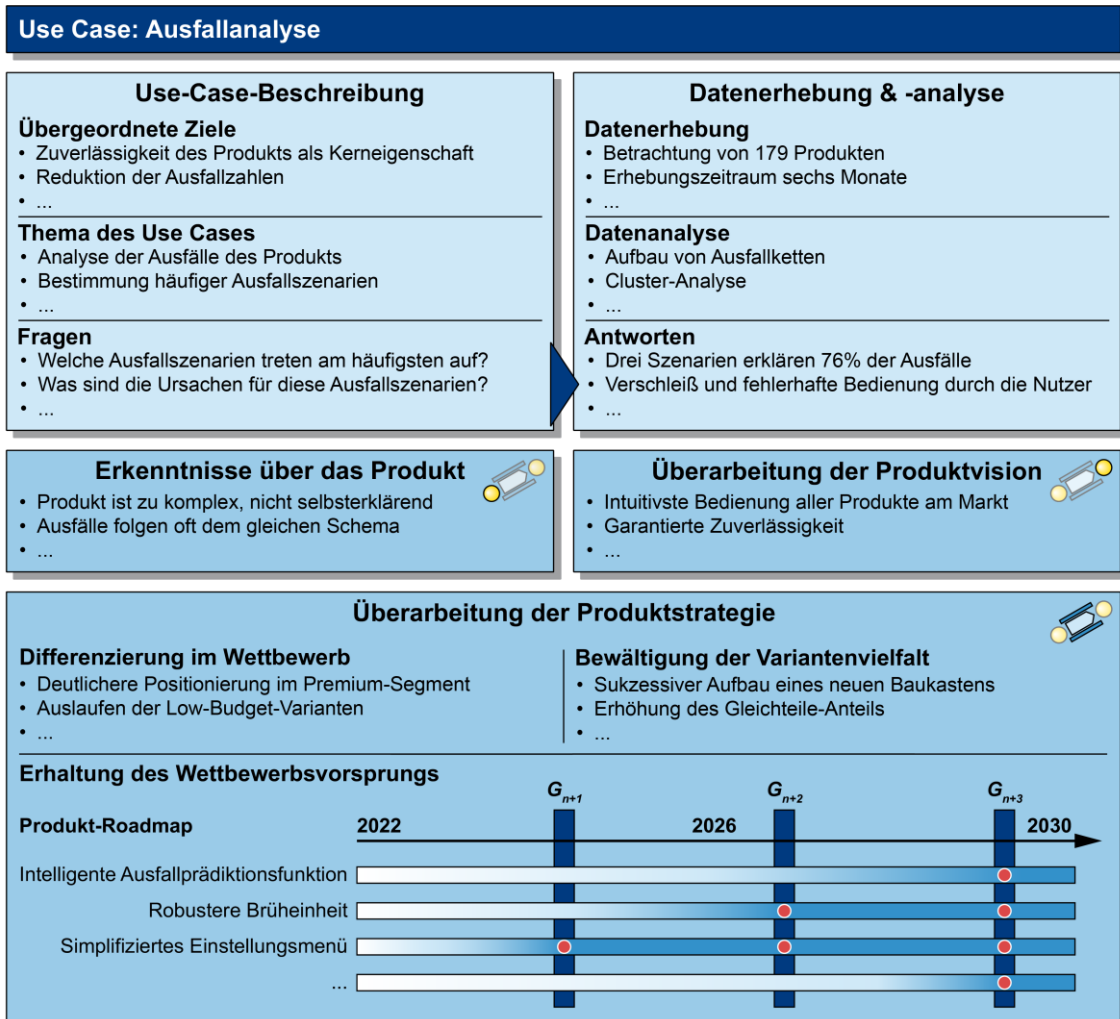


Bild 4-37: Steckbrief zur Zusammenfassung des Verwertungsprozesses

4.6 Unterstützungsevaluation

In diesem Abschnitt wird die Systematik zur Planung und Verwertung von Betriebsdaten-Analysen in der strategischen Produktplanung anhand der an sie gestellten Anforderungen (Abschnitt 2.5) bewertet. Dies entspricht der Unterstützungsevaluation nach BLESING und CHAKRABARTI [BC09, S. 176f.].

Anforderungen an die Integration von Betriebsdaten-Analysen in die strategische Produktplanung

A1) Bereitstellung eines Referenzmodells für die strategische Planung neuer Produktgenerationen: Die Systematik stellt ein dediziertes Referenzmodell für die strategische Planung neuer Produktgenerationen bereit. Dieses stellt einen Handlungsrahmen dar und beschreibt die Hauptaufgaben, die es zu erledigen gilt. Außerdem ermöglicht es die Verankerung der Betriebsdaten-gestützten Produktplanung in der strategischen Produktplanung. Das Referenzmodell basiert auf einer Theorie zur strategischen Planung neuer Produktgenerationen, die mit der Grounded-Theory-Methodologie hergeleitet wurde.

A2) Bereitstellung eines Referenzprozesses für die Betriebsdaten-gestützte Produktplanung: Neben dem Referenzmodell bietet die Systematik auch einen Referenzprozess für die Betriebsdaten-gestützte Produktplanung. Dieser beschreibt, wie Betriebsdaten-Analysen in die strategische Produktplanung integriert werden können. Der Referenzprozess baut inhaltlich auf bewährten Data-Analytics-Referenzprozessen auf und überführt diese in den Kontext der strategischen Produktplanung.

Anforderungen an die Planung von Betriebsdaten-Analysen in der strategischen Produktplanung

A3) Ermittlung relevanter Untersuchungsbedarfe: Diese Anforderung wird mit der Analytics-Bedarfsanalyse erfüllt, die Teil der Methode zur Planung von Betriebsdaten-Analysen in der strategischen Produktplanung ist. In dieser wird die Produktvision als Produktprofil modelliert, um die darin enthaltenen Nutzelemente anschließend gegenüber den Vorgängergenerationen zu klassifizieren. Die klassifizierten Nutzelemente stellen Untersuchungsbedarfe dar, die abschließend anhand ihrer strategischen Relevanz und der mit ihnen assoziierten Unsicherheiten bewertet sowie priorisiert werden.

A4) Ermittlung eines Stärken-Schwächen-Profiles für Betriebsdaten-Analysen: Die Analytics-Potentialanalyse der Methode zur Planung von Betriebsdaten-Analysen in der strategischen Produktplanung adressiert diese Anforderung. Die Potentialanalyse betrachtet die drei Dimensionen *Produkt*, *Kunden* und *Unternehmen* sowie jeweils mehrere Merkmale in diesen. Mit der Bewertung der Merkmale in allen drei Dimensionen steht ein umfassendes Stärken-Schwächen-Profil bereit, auf dessen Basis realistische Use Cases der Betriebsdaten-gestützten Produktplanung entworfen werden können.

A5) Definition Erfolg versprechender, realistischer Use Cases: Aufbauend auf der Analytics-Bedarfs- und -Potentialanalyse wird diese Anforderung mit dem Use-Case-Entwurf und der -Konkretisierung berücksichtigt. Dabei werden zunächst Untersuchungsbedarfe und das Stärken-Schwächen-Profil zur Definition von Zielen und Rahmenbedingungen eines Use Cases zusammengeführt. Anschließend wird der entworfene Use Case mit Fragen und erforderlichen Daten konkretisiert.

A6) Bereitstellung von Gestaltungswissen für die Use-Case-Definition: Gestaltungswissen für die Use-Case-Definition wird in Form der generischen Use Cases der Betriebsdaten-gestützten Produktplanung und der Betriebsdaten-Klassifikation bereitgestellt. Gemeinsam sind diese sowie die ausgewählten generischen Nutzelemente nach ALMQUIST ET AL. in einem Kartenset dokumentiert. Diese anwenderfreundliche Präsentation des Gestaltungswissens erlaubt die gezielte Unterstützung der Use-Case-Definition – vom Entwurf bis zur Konkretisierung.

Anforderungen an die Verwertung von Betriebsdaten-Analysen in der strategischen Produktplanung

A7) Gewährleistung einer umfassenden Interpretation der Datenanalyse-Ergebnisse: Die umfassende Interpretation der Datenanalyse-Ergebnisse wird mit dem Interpretations-Canvas gewährleistet. Dieses teilt die Interpretation in drei aufeinander aufbauende Teile ein: *Kontext und Limitationen*, *Beschreibung und Bewertung* sowie *Erkenntnisse und Verbesserungspotentiale*. Das Canvas leitet die Anwender so systematisch von Datenanalyse-Ergebnissen zu konkreten Verbesserungspotentialen neuer Produktgenerationen für die strategische Produktplanung.

A8) Beschreibung der methodischen Planung neuer Produktgenerationen: Diese Anforderung wird durch die *Zielsystem-Überarbeitung*, *Ideenfindung* und *Umsetzungsplanung* in der Methode zur Verwertung von Betriebsdaten-Analysen in der strategischen Produktplanung erfüllt. Diese drei Phasen zeigen, wie neue Produktgenerationen auf Basis ihrer Vorgänger-Generationen geplant werden können. Dabei sind sie konsistent mit den Hauptaufgaben des Referenzmodells für die strategische Planung neuer Produktgenerationen.

A9) Verknüpfung der Datenanalyse-Ergebnisse mit dem Produktplanungsprozess: Die Erfüllung dieser Anforderung wird durch die konsequente Beachtung der Gestaltungsprinzipien für die Verwertung von Datenanalyse-Ergebnissen in der strategischen Produktplanung in der Verwertungs-Methode sichergestellt. Diese umfassen z. B., dass die Auswirkungen der Datenanalyse-Ergebnisse auf produktstrategische Entscheidungen umfassend und über den gesamten Verwertungsprozess analysiert werden.

Fazit: Die Systematik zur Planung und Verwertung von Betriebsdaten-Analysen in der strategischen Produktplanung erfüllt die an sie gestellten Anforderungen in vollem Umfang.

5 Anwendung und Evaluation der Systematik

“People don’t know what they want until you show it to them. That’s why I never rely on market research. Our task is to read things that are not yet on the page.” – STEVE JOBS in [Isa11]

Die in Abschnitt 4.6 durchgeführte Unterstützungsevaluation legt dar, dass die entwickelte Systematik die an sie gestellten Anforderungen in der Theorie erfüllt. Diese theoretische Evaluation beinhaltet jedoch noch keine Aussage über die Wirksamkeit der entwickelten Systematik in der Praxis. Aus diesem Grund werden in diesem Kapitel die Anwendung der Systematik in der Praxis (Abschnitt 5.1) sowie eine darauf aufbauende Anwendungs- und Erfolgsevaluation (Abschnitt 5.2) beschrieben.

5.1 Vorstellung der Anwendungsbeispiele

Die entwickelte Systematik wurde im Rahmen des Konsortialforschungsprojekts DizRuPt mit vier produzierenden Unternehmen am Beispiel jeweils eines ausgewählten Produkts angewendet. Diese Beispiele werden in den folgenden Abschnitten beschrieben (Abschnitt 5.1.1 bis 5.1.4). Der Schwerpunkt liegt dabei auf den Hauptprozessen der Planung und Verwertung der jeweiligen Betriebsdaten-Analysen. Ihre Vorbereitung und Durchführung werden hingegen nur kurz zusammengefasst, da sie zwar Teil des übergeordneten Referenzprozesses der Betriebsdaten-gestützten Produktplanung sind, aber nicht im Aufgabengebiet des Produktmanagers als Adressat dieser Arbeit liegen. Um die Vertraulichkeit zu wahren, wurden schützenswerte Informationen verfremdet oder ausgelassen. Im Anschluss an die Vorstellung der Anwendungsbeispiele wird eine fallübergreifende Analyse durchgeführt, in der die Erkenntnisse der vier Einzelfälle zu allgemeinen Aussagen über die Anwendung der Systematik aggregiert werden (Abschnitt 5.1.5).

5.1.1 Anwendungsbeispiel „Hydraulischer Oberdruckhammer“

Im ersten Anwendungsbeispiel wurde die Systematik mit einem Unternehmen angewendet, das Maschinen und Anlagen für industrielle Umformaufgaben herstellt. Das betrachtete Produkt war ein hydraulischer Oberdruckhammer. Diese Maschine wird für die Umformung von Metallen in der Schmiedeindustrie eingesetzt. Dabei wird der Hammerbär der Maschine als bewegliches Werkzeug hydraulisch in sog. Schlägen hoch und runter bewegt, um das heiße Metall in die gewünschte geometrische Form zu bringen. Die dafür benötigte Energie wird neben der Fallhöhe des Hammers vom hydraulischen Oberdruckantrieb bereitgestellt.

In der **Analytics-Bedarfsanalyse** wurden zunächst relevante Eigenschaften der zukünftigen Generation des hydraulischen Oberdruckhammers ausgemacht. Diese beinhalteten unter anderem eine hohe Hammerqualität, eine hohe Energieeffizienz, eine kundenorientierte Auslegung, eine hohe Präzision der Werkstückbearbeitung sowie ein optimiertes

Schwingverhalten. Durch Gegenüberstellung der strategischen Relevanz sowie der mit den Eigenschaften assoziierten Unsicherheiten wurde die Produktqualität als prioritärer Untersuchungsbedarf identifiziert, den es weiterzuverfolgen gilt.

Die **Analytics-Potentialanalyse** offenbarte eine geringe Analytics-Leistungsfähigkeit des Unternehmens. Zwar verfügen die Produkte im Betrieb über eine hohe Vergleichbarkeit, sie weisen aber nur einen geringen Digitalisierungsgrad auf. Außerdem wurde die Branche als eher konservativ beschrieben. Daher wurde erwartet, dass sich zu diesem Zeitpunkt eher wenige Kunden auf das Zurückspielen der Betriebsdaten an den Hersteller einlassen würden. Auch konnte das Unternehmen nur geringe Erfahrungen mit Data-Analytics-Technologien vorweisen.

Vor diesem Hintergrund wurde im **Use-Case-Entwurf** festgelegt, dass der Gegenstand des Use Cases die Analyse von Fehlern des Oberdruckhammers sein sollte. Als relevanter Fehler, den es zu untersuchen galt, wurde dabei das Absacken des sog. Hammerbären benannt. Bei diesem Fehler kann der Hammerbär seine obere Ruhelage im Betrieb nicht mehr halten und sinkt langsam ab. Die Reparatur dieses Fehlers ist mit großen Aufwänden verbunden. Aufgrund der benannten Stärken und Schwächen wurde geplant, die Daten mit einer Demonstrator-Maschine zu generieren. Dies versprach den Vorteil, den bekannten Fehler aktiv herbeiführen zu können und nicht auf ein kaum planbares Auftreten im Betrieb beim Kunden angewiesen zu sein. Dafür wurde auch in Kauf genommen, dass kein realer Betrieb des Oberdruckhammers vorlag. Der Use Case wird in Bild 5-1 zusammengefasst.

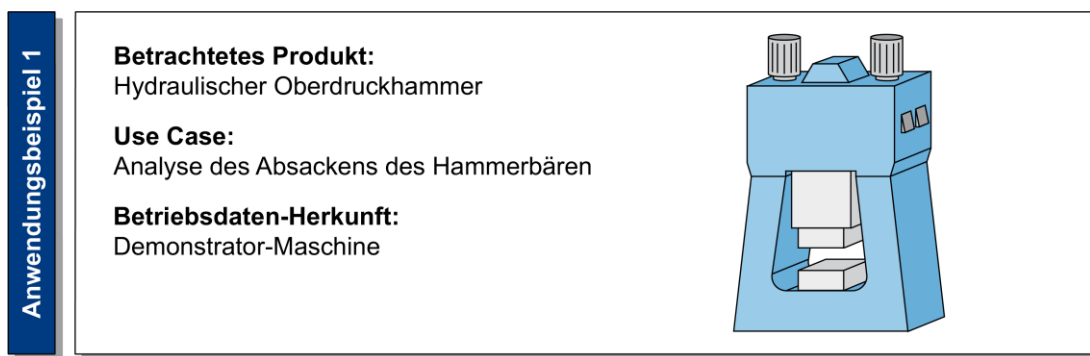


Bild 5-1: Use Case des Anwendungsbeispiels 1

In der **Use-Case-Konkretisierung** wurde festgehalten, dass das Absacken des Hammerbären mit einer Leckage im Hydrauliksystem einhergeht. Um diesen Fehlerfall besser zu verstehen, wurden Fragen formuliert wie: *Welche Nachpumpintervalle ergeben sich im Normal- und im Fehlerfall? In welcher Zeit sackt der Hammerbär ab? Wie unterscheiden sich interne und externe Leckage? Wie viel Volumenverlust in Folge der Leckage kann der Speicher ausgleichen?* Diese waren mit der Betriebsdaten-Analyse zu beantworten.

In der **Vorbereitung der Betriebsdaten-Analyse** stand die Datenerhebung im Fokus. Dafür wurden geeignete Sensoren an der Demonstrator-Maschine nachgerüstet sowie die

erforderlichen Veränderungen am Hydrauliksystem des Oberdruckhammers zur Nachbildung des bekannten Fehlers vorgenommen. In der **Durchführung der Betriebsdaten-Analyse** wurden anschließend Datensätze des Normal- und des Fehlerzustands miteinander verglichen und auf Unterschiede untersucht.

Die **Ergebnis-Interpretation** zeigte, dass eine externe Leckage zwar erkannt werden kann, eine interne jedoch nicht eindeutig detektierbar ist. Mit einer deutlichen Verkürzung der Öl-Nachladezeit konnte der Druckspeicher die künstlich herbeigeführten Leckagen immer wieder so kompensieren, dass der Hammerbär auch bei größeren Leckagen nicht einfach absackte, sondern weiterarbeitete. Dies zeigte, dass das Hydrauliksystem robuster ist als ursprünglich angenommen. Auch wenn das aus dem Betrieb bekannte Absacken des Hammerbären mit der Demonstrator-Maschine nicht nachgebildet werden konnte, konnten mehrere Verbesserungspotentiale aus den Datenanalyse-Ergebnissen abgeleitet werden, z. B. im Hinblick auf mögliche Kostensenkungen und die Detektion von Leckagen.

In der **Zielsystem-Überarbeitung** wurde unter anderem festgehalten, dass die neue Produktgeneration hinsichtlich ihrer Dichtigkeit optimiert werden sollte, um Leckagen zu verhindern. Außerdem sollte der Oberdruckhammer während des Betriebs selbstständig Druckverluste feststellen und melden können. Hinsichtlich der bisherigen Ziele ergaben sich vor allem Konflikte mit den bestehenden Kostenzielen, die auch in neuen Produktgenerationen einzuhalten seien.

In der anschließenden **Ideenfindung** wurden insgesamt zehn Verbesserungsideen identifiziert. Durch eine Clusterung konnten diese auf sechs Ideen eingegrenzt werden. Für die Nutzwertanalyse wurden die Kriterien *Kosten für den Kunden*, *Mehrwert für den Kunden*, *Kompetenzen/Erfahrung* und *Aufwand* herangezogen. Da die Ideen zum Teil unterschiedliche Verbesserungspotentiale adressierten, wurde auf Basis der Bewertung entschieden, dass insgesamt fünf Ideen weiterverfolgt werden sollten, z. B. die Entwicklung einer neuen Wartungssoftware.

Als Teil der **Umsetzungsplanung** legte das Unternehmen fest, dass zwei Ideen bereits in die aktuelle Produktgeneration integriert werden sollten. Hier sollten sie im Rahmen eines Major Releases den wahrgenommenen Nutzen steigern, bis die nächste Produktgeneration auf den Markt kommt. Die drei übrigen Ideen sollten insbesondere aufgrund ihrer hohen Änderungskomplexität und des damit verbundenen Entwicklungsrisikos erst in neuen Produktgenerationen umgesetzt werden.

Neben dem Use Case des absackenden Hammerbären gab es noch **einen weiteren Use Case** für den hydraulischen Oberdruckhammer. In diesem wurde das Schwingverhalten des Hammerbären mit Betriebsdaten untersucht. Auch in diesem Fall konnten mit der Betriebsdaten-Analyse Hinweise auf vielversprechende Verbesserungsbedarfe identifiziert werden, die z. B. die Auslegung des Antriebs betrafen. Auf eine ausführliche Darstellung des zweiten Use Cases wird an dieser Stelle aus Platzgründen verzichtet.

5.1.2 Anwendungsbeispiel „Remote I/O-System“

Im zweiten Anwendungsbeispiel erfolgte die Anwendung der Systematik mit einem produzierenden Unternehmen der elektrischen Verbindungstechnik. Betrachtet wurde dabei ein Remote I/O-System für die Automatisierung von Maschinen und Anlagen. Mit diesem können ein- und ausgehende Daten und Signale zwischen der speicherprogrammierbaren Steuerung sowie den Sensoren und Aktoren der Maschine übertragen werden. Das System besteht aus einer Basisstation und flexibel einsetzbaren Modulen, die jeweils eine Aufgabe wie die Übertragung von Analog-Signalen erfüllen.

In der **Analytics-Bedarfsanalyse** wurde zunächst der Nutzen beschrieben, den das Produkt Kunden in der Zukunft bieten soll. Dafür wurden die Nutzelemente von ALMQUIST ET AL. eingesetzt [ACS18, S. 76]. Beispielsweise soll das Produkt Kunden die Simplifizierung ihrer Aufgaben, Zeitersparnisse und die Skalierbarkeit für verschiedene Anwendungsfälle ermöglichen. Insbesondere mit dem Nutzelement der Skalierbarkeit wurden jedoch hohe Unsicherheiten verbunden, da es unklar war, wie skalierbar das Produkt im Betrieb tatsächlich ist. Dieses Nutzelement wurde für weitere Untersuchungen ausgewählt.

Die **Analytics-Potentialanalyse** mündete in einem sehr heterogenen Stärken-Schwächen-Profil. Als Schwächen für die Betriebsdaten-gestützte Produktplanung stellten sich z. B. die geringe Anzahl an Sensoren und Aktoren des Produkts sowie die geringe Produkt-Vergleichbarkeit in Folge zahlreicher möglicher Konfigurationen heraus. Außerdem waren weder technische noch rechtliche Rahmenbedingungen für den Zugriff auf die Betriebsdaten geklärt. Diesen standen herausragende Stärken wie die sehr hohe Datenqualität und die Datenkompetenzen des Unternehmens gegenüber.

Aufbauend auf den vorangegangenen Phasen wurde im **Use-Case-Entwurf** entschieden, dass untersucht werden soll, ob die Leistung des Grundmoduls für verschiedene Konfigurationen, Umgebungsbedingungen und Datenraten geeignet ist. Dies sollte im Rahmen eines Laborexperiments mit einem Remote I/O-System als Demonstrator erfolgen, da kurzfristig nicht genügend reale Betriebsdaten beschafft werden konnten. Außerdem erlaubte ein derartiges Experiment auch die Untersuchung von Extremsituationen. Bild 5-2 zeigt den Use Case.

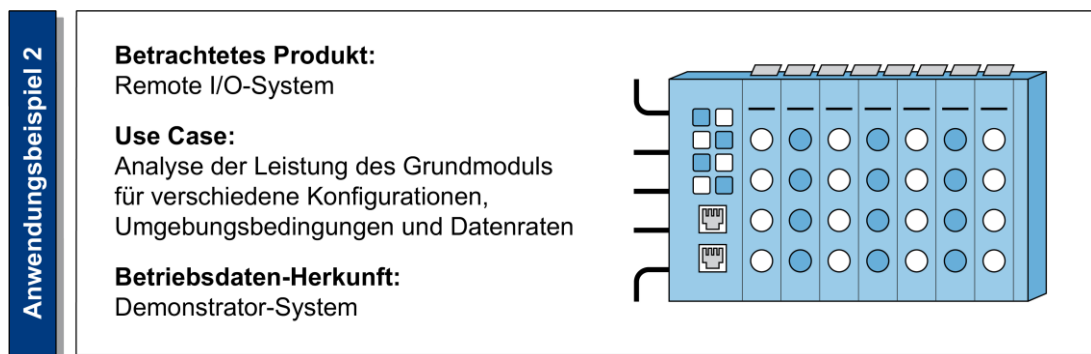


Bild 5-2: Use Case des Anwendungsbeispiels 2

In der **Use-Case-Konkretisierung** wurden im Rahmen eines Question Stormings drei Fragen identifiziert, die in der Betriebsdaten-Analyse primär beantwortet werden sollten: *Ist der Prozessor des Remote I/O-Systems ausreichend groß dimensioniert? Welche Systembedingungen deuten auf ein Leistungsproblem des Prozessors hin? Wie groß müsste der Prozessor dimensioniert sein?*

Die **Vorbereitung der Betriebsdaten-Analyse** war auch in diesem Anwendungsbeispiel vom Aufbau eines geeigneten Demonstrators geprägt, der die benötigten Betriebsdaten generieren sollte. In der **Durchführung der Betriebsdaten-Analyse** wurden vielfältige Szenarien miteinander verglichen und ausgewertet, die sich in den Konfigurationen des Remote I/O-Systems, den Umgebungsbedingungen und den Datenraten unterschieden.

Im Rahmen der **Ergebnis-Interpretation** wurde festgestellt, dass der Prozessor des Remote I/O-Systems in keinem der geprüften Szenarien überlastet war. Aus dieser Erkenntnis wurde kurzfristig ein Kostensenkungs-Potential abgeleitet. Langfristig erwartete das Unternehmen jedoch stark steigende Anforderungen an das Remote I/O-System. Dies mündete in der Idee, die gegenwärtige Produktgeneration zukünftig als eine Mittelklassen-Variante zu platzieren und daneben eine neue High-End-Variante auf den Markt zu bringen. Im weiteren Verwertungsprozess wurde daher die Planung einer leistungsstärkeren High-End-Variante auf Basis des aktuellen Remote I/O-Systems verfolgt.

In der **Zielsystem-Überarbeitung** wurden neue Leistungsziele für den Prozessor der nächsten Produktgeneration festgehalten. Außerdem wurde als neues Ziel definiert, dass die Basisstation des neuen Remote I/O-Systems zu den bestehenden Modulen kompatibel sein muss. Ein weiteres neues Ziel war eine direkte Auswertbarkeit der CPU-Last. Diese musste in der bestehenden Produktgeneration noch aus anderen Größen berechnet werden. Die Änderungen des Zielsystems führten nur zu partiellen Zielkonflikten, die aufwandsarm aufgelöst werden konnten.

Die **Ideenfindung** resultierte in sieben Verbesserungsideen. Darunter befanden sich z. B. die Integration neuer, leistungsstärkerer Prozessoren und die Optimierung der bestehenden Firmware. Die Ideen wurden anhand der Kriterien *Kosten*, *Änderungsaufwand*, *Leistungsfähigkeit* und *Differenzierung* bewertet. Auf Basis der Bewertungen wurden vier der sieben Ideen ausgewählt und drei Ideen verworfen.

In der **Umsetzungsplanung** wurde festgehalten, dass drei Ideen bereits in der aktuellen Produktgeneration umgesetzt werden sollten, damit diese bis zum Start ihres Nachfolgers noch Kundenbegeisterung entfachen könne. Sie zeichneten sich durch ein sehr geringes Entwicklungsrisiko aus. Eine umfangreichere Idee mit hohem Nutzenpotential und Entwicklungsrisiko wurde dagegen erst für die nächste Produktgeneration vorgesehen.

5.1.3 Anwendungsbeispiel „Geldautomat“

Das dritte Anwendungsbeispiel beschreibt die Anwendung der Systematik mit einem Unternehmen, das vornehmlich Geldautomaten sowie Kassensysteme für den Einzelhandel

produziert. Im Anwendungsbeispiel lag der Fokus auf einer Geldautomaten-Produktfamilie. Diese können z. B. im Innen- und Außenbereich von Bankfilialen, aber auch an Orten wie Bahnhöfen stehen.

In der **Analytics-Bedarfsanalyse** wurden mit dem Value Proposition Canvas nach OSTERWALDER ET AL. Nutzelemente für neue Produktgenerationen des betrachteten Geldautomaten identifiziert. Eine besonders hohe Relevanz erreichten dabei die Zuverlässigkeit des Produkts, die Schnittstelle zum Kunden und die Kosten des Produkts. Mit hohen Unsicherheiten wurde insbesondere die technische Simplifizierung des Produkts verbunden. Die höchste Priorität in Folge der Relevanz- und Unsicherheitsbewertung besaß die Zuverlässigkeit des Produkts. Sie wurde als Untersuchungsbedarf ausgewählt.

Die **Analytics-Potentialanalyse** stellte dem Unternehmen eine sehr hohe Analytics-Leistungsfähigkeit aus. Als Stärken zeigten sich unter anderem die hohe Anzahl an Aktoren und Sensoren des Produkts, dessen Konnektivität, die Möglichkeiten zum Betriebsdaten-Zugriff und die vorhandenen Daten-Kompetenzen. Als einzige deutliche Schwäche wurden die Umgebungsbedingungen des Produkts ausgemacht, die weltweit kaum vergleichbar sind und die Nachvollziehbarkeit des Betriebsverhaltens signifikant einschränken.

Vor dem Hintergrund dieses Stärken-Schwächen-Profiles entschied sich das Unternehmen im **Use-Case-Entwurf**, Ursachen für bekannte Probleme der Geldautomaten im Betrieb zu untersuchen. Konkret ging es dabei darum, Ausfälle der sogenannten Ausrichtstation zu analysieren. Diese verursachen hohe Servicekosten im betrachteten Unternehmen und wurden bisher oft erst sehr spät entdeckt. Um die vorhandenen Stärken zu nutzen, sollten reale Betriebsdaten von 92 Instanzen der aktuellen Produktgeneration analysiert werden, die sich zu dieser Zeit im Betrieb befanden. Eine Zusammenfassung des Use Case zeigt Bild 5-3.

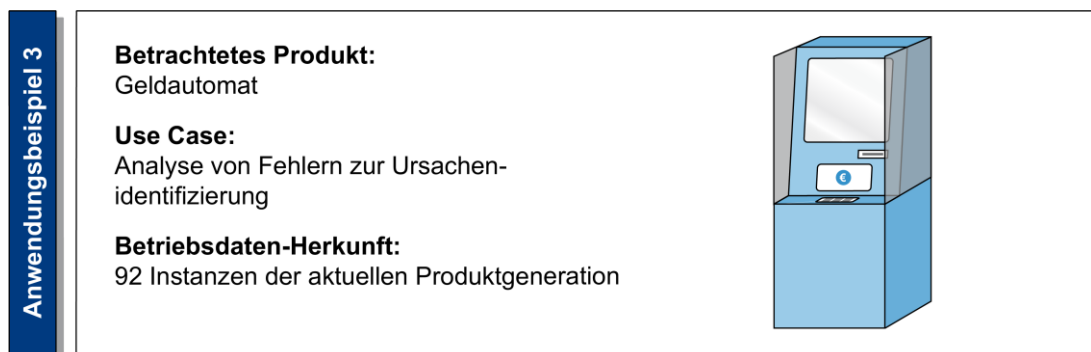


Bild 5-3: Use Case des Anwendungsbeispiels 3

Das Question Storming und die anschließende Fragen-Priorisierung im Rahmen der **Use-Case-Konkretisierung** führten zu folgenden Fragen: *Wie wichtig ist die Ausrichtstation für den korrekten Betrieb des Geldautomaten? Was sind die Gründe für den Ausfall der Ausrichtstation? Wie deutet sich ein Ausfall der Ausrichtstation an?* Diese sollten mit einer Betriebsdaten-Analyse beantwortet werden.

Zur Beantwortung der Fragen konnte auf vorhandene Betriebsdaten und deren Analysen zurückgegriffen werden, die aus den Entwicklungs-, Service- und Reparaturabteilungen des Unternehmens stammten. Die **Vorbereitung der Betriebsdaten-Analyse** umfasste daher lediglich die Sammlung der vorhandenen Betriebsdaten und Analysen. Die **Durchführung der Betriebsdaten-Analyse** war in diesem Anwendungsbeispiel durch die Entwicklung und Implementierung eines Algorithmus zur gemeinsamen Auswertung der unterschiedlichen Daten geprägt.

Aus der **Ergebnis-Interpretation** ging anschließend hervor, dass die Winkelkorrektur der Ausrichtstation in zahlreichen Fällen nicht funktioniert. Die Verdrehwinkel der Geldnoten wurden oft in zu geringem Ausmaß korrigiert oder sogar noch vergrößert. Außerdem konnte festgestellt werden, dass eine defekte und damit inaktive Winkelkorrektur nicht zu einem Ausfall des Geldautomaten führte. Ein Austausch der Ausrichtstation löste die Probleme in der Regel nicht. Damit ergaben sich einerseits Kostensenkungspotentiale für den Geldautomaten und zugehörige Service-Aktivitäten. Andererseits deckten die Ergebnisse Potentiale zur Steigerung der Verfügbarkeit des Geldautomaten auf, welche durch die Fehleranfälligkeit der Winkelkorrektur beeinträchtigt wurde.

In der **Zielsystem-Überarbeitung** wurden daher die Ziele der neuen Produktgeneration angepasst. Z. B. sollte eine höhere Verfügbarkeit des Geldautomaten erreicht werden, ohne dabei seinen Preis oder seine Kosten zu erhöhen. Wichtig war den Unternehmensvertretern außerdem, dass für die Fertigung der neuen Produktgeneration die gleichen Werkzeuge wie bisher verwendet werden sollten. Zielkonflikte ergaben sich in der Folge nur vereinzelt und in schwacher Ausprägung. Sie konnten mit geringem Aufwand behoben werden.

Die **Ideenfindung** brachte acht Verbesserungsideen hervor, von denen sich fünf auf Lösungen für neue Produktgenerationen und drei auf Lösungen für die zahlreichen bestehenden Produktinstanzen im Betrieb bezogen. Für Letztere wurde beispielsweise erwogen, die bestehende Winkelkorrektur per Software-Update zu deaktivieren. In der Nutzwertanalyse wurden die Kriterien *Kosten*, *Änderungsaufwand*, *Leistungsfähigkeit* sowie *Wart- und Reparierbarkeit* angesetzt. In Folge der Bewertung wurden drei Ideen für die Umsetzung ausgewählt.

Die **Umsetzungsplanung** zeigte, dass alle drei ausgewählten Ideen eine ähnliche Änderungsrelevanz besaßen, da sie das gleiche Verbesserungspotential adressierten. Sie unterschieden sich jedoch hinsichtlich des Entwicklungsrisikos. Während zwei Ideen besonders eher einfach umzusetzen waren und als kurz- bis mittelfristige Verbesserungen der aktuellen Produktgeneration eingestuft wurden, sollte eine andere Idee erst in der neuen Produktgeneration umgesetzt werden. Die dritte Idee umfasste die Entwicklung eines Micro-Services, der sowohl für die gegenwärtige als auch für neue Produktgenerationen eingesetzt werden sollte.

5.1.4 Anwendungsbeispiel „Lüftungsgerät“

Das vierte Anwendungsbeispiel betrachtet die Anwendung der Systematik in einem Unternehmen, das unter anderem Produkte im Bereich der Luft- und Klimatechnik herstellt. Das ausgewählte Produkt für die Betriebsdaten-gestützte Produktplanung war ein Lüftungsgerät für Privathaushalte. Dieses wird eingesetzt, um einen gleichmäßigen Luftwechsel im Haus oder der Wohnung zu realisieren und Energie aus der verbrauchten Abluft zurückzugewinnen. Das Lüftungsgerät kann im Keller, im Dachgeschoss oder in Wohnräumen installiert sein.

Das in der **Analytics-Bedarfsanalyse** ausgefüllte Value Proposition Canvas legte dar, dass neue Generationen des Lüftungsgeräts den Kunden unter anderem mit einer langen Lebensdauer, geringen Betriebskosten, mehr Konnektivität und einer einfachen Bedienung Nutzen stiften sollten. Aus der Priorisierung ging dabei die Verlängerung der Lebensdauer des Lüftungsgeräts als zu verfolgender Untersuchungsbedarf hervor.

Die **Analytics-Potentialanalyse** zeigte noch einige Hindernisse für eine systematische Analyse und Verwertung von Betriebsdaten in der strategischen Produktplanung. So verfügte das Lüftungsgerät z. B. noch nicht über ein Kommunikationssystem und nur über wenige Sensoren. Eine weitere Herausforderung stellte die Akquisition realer Daten aus dem Betrieb dar, da das Lüftungsgerät in Privathäusern eingesetzt wird und Privatkunden einem umfassenden Datenzugriff voraussichtlich mit zahlreichen Vorbehalten begegnen würden. Darüber hinaus hatte das Unternehmen bisher noch keine Erfahrungen mit dem Einsatz von Data Analytics gesammelt.

Im **Use-Case-Entwurf** wurden diese Voraussetzungen vollumfänglich berücksichtigt. So entschied das Unternehmen, die Betriebsdaten in einem Laborexperiment mit einem Demonstrator-Gerät zu erheben. An diesem konnten neue Sensoren nachgerüstet und die Betriebsdaten einfach aufgenommen werden. Außerdem konnte das Lüftungsgerät aktiv manipuliert werden, um verschiedene Verschleißszenarien zu simulieren. Konkret untersucht werden sollte dabei der Verschleiß der Ventilatoren. In Bild 5-4 wird der Use Case kurz und prägnant dargestellt.

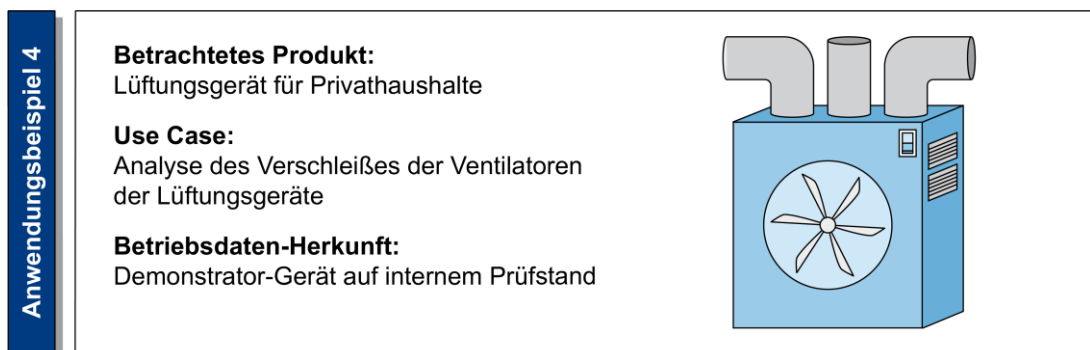


Bild 5-4: Use Case des Anwendungsbeispiels 4

Mit dem Question Canvas wurde in der **Use-Case-Konkretisierung** festgehalten, dass vor allem das Eindringen von Staub in die Lager der Ventilatoren zu einer Erhöhung der Reibung und damit des Verschleißes führt. Um die Auswirkungen auf das Verhalten des Lüftungsgeräts besser zu verstehen, wurden folgende Fragen aufgestellt: *Wie kann der Verschleiß gemessen werden? Wie hoch muss der Partikeleintrag sein, damit sich der Verschleiß bemerkbar macht? Welchen Einfluss haben weitere Umgebungsbedingungen wie die Temperatur auf den Verschleiß?*

Die **Vorbereitung der Betriebsdaten-Analyse** war wesentlich von der Vorbereitung der Labormessung geprägt, in der z. B. ein geeignetes Messsystem bestimmt und eine geeignete Lösung für die Simulation des Partikeleintrags identifiziert wurde. In der **Durchführung der Betriebsdaten-Analyse** wurden anschließend verschiedene Massen als Unwucht am Ventilator angebracht und die zugehörigen Vibrationen gemessen, die am Gehäuse entstanden.

In der **Ergebnis-Interpretation** wurde festgestellt, dass sich bestimmte Resonanzfrequenzen mit der Unwucht-Masse verändern. Diese Veränderungen ließen Rückschlüsse auf den Verschleiß am Ventilator zu. Da dieser die Lebensdauer des Geräts verringerte und zu höheren Betriebskosten führte, ergaben sich Verbesserungspotentiale im Hinblick auf eine längere Lebensdauer und geringere Betriebskosten des Geräts sowie eine frühzeitige Verschleiß-Erkennung und -Benachrichtigung.

Ergebnis der **Zielsystem-Überarbeitung** waren vier neue Ziele für neue Produktgenerationen. Dazu zählte z. B., dass weniger Partikel während des Betriebs in das Gerät gelangen sollten. Ein anderes Beispiel war, dass neue Produktgenerationen Kunden frühzeitig über einen zunehmenden Verschleiß informieren sollten, um eine Beschädigung oder einen Ausfall des Geräts zu verhindern.

Die anschließende **Ideenfindung** ergab zunächst 16 Verbesserungsideen. Diese konnten durch Clusterung und Vorauswahl auf elf Ideen reduziert werden. Eine exemplarische Idee war eine App mit Status-Informationen über das Lüftungsgerät, in der unter anderem die Laufruhe und der Verschleiß angezeigt werden sollten. In der Nutzwertanalyse wurden die Kriterien *Kosten*, *Änderungsaufwand*, *Leistungsfähigkeit* und *Differenzierung* angesetzt, um die Ideen zu bewerten. Vier Ideen wurden nach der Bewertung weiterverfolgt, unter anderem die zuvor beschriebene App-Idee.

In der abschließenden **Umsetzungsplanung** zeigte sich, dass zwei Ideen bereits eine sehr hohe Relevanz für die gegenwärtige Produktgeneration besaßen. Sie sollten daher in einem Major Release umgesetzt werden. Die anderen beiden Ideen zeichneten sich durch eine geringere kurzfristige Änderungsrelevanz aus, wurden jedoch mit einem hohen Entwicklungsrisiko verbunden. Aus diesem Grund wurde ihre Implementierung erst in neuen Produktgenerationen geplant. Dies wurde auch deshalb als sinnvoll erachtet, da von beiden Ideen erwartet wurde, dass sie eine besonders große Begeisterung bei den Kunden auslösen dürften. Entsprechend könnten die beiden Ideen als wichtige Kaufargumente für die neue Produktgeneration angesehen werden.

5.1.5 Fallübergreifende Analyse der Anwendung der Systematik

Aufbauend auf der Vorstellung der Anwendungsbeispiele (Abschnitte 5.1.1 bis 5.1.4) werden in einer fallübergreifenden Analyse die Gemeinsamkeiten und Unterschiede der Anwendung der Systematik analysiert. Das Vorgehen zur fallübergreifenden Analyse richtet sich dabei nach YIN. Dieser beschreibt, dass fallübergreifende Analysen nicht variablenbasiert, sondern fallbasiert durchzuführen sind [Yin18, S. 245f.]. Variablenbasierte Analysen vergleichen dabei einzelne, isolierte Variablen unterschiedlicher Fälle. Dieses Verfahren wird vor allem bei quantitativen Forschungsansätzen verfolgt. Für die qualitative Analyse von Fallbeispielen ist es aber nicht geeignet, da es die komplexen Zusammenhänge innerhalb der jeweiligen Fallbeispiele vernachlässigt. Fallbasierte Analysen hingegen wahren die Integrität der jeweiligen Fälle, indem zunächst fallinterne Muster identifiziert werden. Anschließend werden fallübergreifende Analysen und Vergleiche der identifizierten Muster durchgeführt [Yin18, S. 245f.]. Entsprechend wurden die einzelnen Fälle zunächst separat auf Auffälligkeiten und Muster untersucht. Anschließend wurden die Ergebnisse miteinander verglichen, um fallübergreifende Aussagen zur Anwendung der Systematik zu erarbeiten. Die daraus **resultierenden Themencuster** werden im Folgenden beschrieben.

Anwendungskontext der Systematik: Die vier Anwendungsbeispiele in den Abschnitten 5.1.1 bis 5.1.4 belegen, dass die entwickelte Systematik nicht nur für bestimmte Arten von Unternehmen und Produkten geeignet ist. Die involvierten Unternehmen unterschieden sich in zahlreichen Aspekten wie ihrer Größe, ihrer Branche und ihrer Data-Analytics-Vorerfahrung. Darüber hinaus besaßen nur zwei Anwenderunternehmen dedizierte Prozesse zur strategischen Planung neuer Produktgenerationen sowie zugehörige Artefakte (z. B. eine Produktstrategie und eine Roadmap), die anderen beiden Anwenderunternehmen verfolgten diese Aufgabe eher intuitiv. Auch die betrachteten Produkte wiesen signifikante Unterscheidungsmerkmale auf, z. B. ihren Digitalisierungsgrad oder die Vergleichbarkeit ihrer Produktinstanzen im Betrieb. Entscheidend für die Anwendbarkeit der Systematik ist daher lediglich, dass im Betrieb des betrachteten Produkts potentiell Daten erhoben werden können. Ist diese Voraussetzung erfüllt, kann die Systematik angewendet werden.

Auswirkungen der Analytics-Leistungsfähigkeit: Ein signifikanter Unterschied der Anwendungsbeispiele wird durch die Analytics-Potentialanalyse (Abschnitt 4.4.3.2) deutlich. Nur dem Unternehmen und dem Produkt des Anwendungsbeispiels „Geldautomat“ konnte eine hohe Analytics-Leistungsfähigkeit bescheinigt werden. In den anderen drei Anwendungsbeispielen mussten sich die involvierten Unternehmen mit gravierenden Schwächen auseinandersetzen und geeignete Lösungen dafür entwickeln. Dies betraf z. B. die Erhebung von Betriebsdaten. Da dies in den drei Anwendungsbeispielen im Feld nicht möglich war, bauten die Unternehmen Demonstratoren, mit denen sie realitätsnahe Experimente durchführten, um die erforderlichen Betriebsdaten zu beschaffen. Ein weiteres Beispiel ist die Sammlung und Analyse der Betriebsdaten. Zwei der Anwenderunternehmen ließen sich dabei vom Befähigerunternehmen und den Forschungspartnern des

Konsortialforschungsprojekts unterstützen, da sie diese Aufgabe allein nicht bewältigen konnten oder wollten. Klar wurde dabei, dass die Bewältigung solcher Herausforderungen die Anwendung der Systematik nicht unmöglich machte, aber den Aufwand zum Teil erheblich steigerte. Zum Vergleich: Das Anwenderunternehmen mit der höchsten Analytics-Leistungsfähigkeit musste nicht einmal neue Betriebsdaten erheben, sondern konnte auf vorhandene Daten und Auswertungen zurückgreifen und damit den Aufwand drastisch reduzieren. Die weiteren Anwenderunternehmen mussten im Anschluss an die Phasen des Use-Case-Entwurfs (Abschnitt 4.4.3.3) und der Use-Case-Konkretisierung (Abschnitt 4.4.3.4) kritisch bewerten, ob der erwartete Nutzen des Use Cases die Aufwände für die Datenerhebung und -analyse rechtfertigte, und den Use Case unter Umständen anpassen.

Effekte der Betriebsdaten-gestützten Produktplanung: In allen vier Anwendungsbeispielen führte die Anwendung der Systematik zu Ideen für neue Produktgenerationen. Neben den eher produktbezogenen Ideen entstanden in drei von vier Anwendungsbeispielen außerdem auch Ideen für (Betriebsdaten-basierte) Services, um die Betriebsphase des Produkts weiter zu optimieren. Interessant war dabei, dass die Identifizierung neuer Produkt- und Service-Ideen nicht nur dann möglich war, wenn die Betriebsdaten-Analyse wie geplant ablief. Selbst wenn ein gewünschtes Phänomen mit dem Demonstrator nicht nachgebildet werden konnte (s. Anwendungsbeispiel „Hydraulischer Oberdruckhammer“ in Abschnitt 5.1.1), enthielten die Datenanalyse-Ergebnisse Zusammenhänge, die zu Diskussionen und neuen Ideen führten. Neben diesen direkten Folgen der Betriebsdaten-Analyse regten die Analytics-Bedarfs- und Potentialanalysen vielfältige Diskussionen an, die z. B. in Ideen für neue Sensoren oder Standardisierungsansätze für neue Produktgenerationen mündeten. Diese indirekten Effekte konnten erzielt werden, bevor die Betriebsdaten-Analyse überhaupt durchgeführt wurde. Wenig überraschend, aber dennoch auffällig war dabei, dass besonders fruchtbare Diskussionen und vielfältige Ideen entstanden, wenn sich mehrere Mitarbeiter unterschiedlicher Abteilungen und Fachdisziplinen diesen Aufgaben gemeinsam widmeten. Bei Einzelbearbeitungen waren diese indirekten Effekte wesentlich schwächer ausgeprägt.

5.2 Anwendungs- und Erfolgsevaluation

Aufbauend auf den Anwendungsbeispielen wird die Evaluation der entwickelten Systematik beschrieben. Diese wird in Anlehnung an BLESSING und CHAKRABARTI in eine Anwendungs- und eine Erfolgsevaluation unterteilt [BC09, S. 37].

In der **Anwendungsevaluation** werden die **Benutzbarkeit (Usability)** und die **Eignung (Applicability)** der entwickelten Systematik untersucht [BC09, S. 37]. Die Benutzbarkeit beschreibt dabei, wie gut ein Artefakt in der Praxis eingesetzt werden kann. Die Eignung beleuchtet, wie gut ein Artefakt seinen Zweck erfüllt [BC09, S. 37]. Um dabei ein differenziertes Bild der eingesetzten Bestandteile der Systematik zu erhalten, werden (1) der

Referenzprozess, (2) die *Methode zur Planung von Betriebsdaten-Analysen in der strategischen Produktplanung* sowie (3) die *Methode zur Verwertung von Betriebsdaten-Analysen in der strategischen Produktplanung* einzeln betrachtet. Das Referenzmodell wird an dieser Stelle ausgeklammert, da es die theoretische Grundlage darstellt, aber nicht direkt in den Anwendungsbeispielen angewendet wurde – im Gegensatz zum Referenzprozess und den beiden Methoden.

In der **Erfolgsevaluation** wird untersucht, inwieweit die entwickelte Systematik **zuvor definierte Erfolgskriterien** erfüllt [BC09, S. 37]. Für die Erfolgsevaluation der entwickelten Systematik werden die erwarteten Vorteile der Betriebsdaten-gestützten Produktplanung aus Abschnitt 2.3.2 zugrunde gelegt. Dabei wird die Erfolgsevaluation für die gesamte Systematik durchgeführt und nicht für ihre einzelnen Bestandteile. Dies begründet sich damit, dass die Systematik die genannten Vorteile auch nur als Ganzes realisieren kann und die einzelnen Bestandteile nur ihre jeweiligen Beiträge dazu leisten.

In Abschnitt 5.2.1 wird das Vorgehen zur Evaluation beschrieben. Die anschließenden Abschnitte 5.2.2 bis 5.2.4 stellen die Ergebnisse der Anwendungsevaluation dar. Die Ergebnisse der Erfolgsevaluation werden in Abschnitt 5.2.5 vorgestellt. Im abschließenden Abschnitt 5.2.6 wird ein Fazit zur Evaluation gezogen.

5.2.1 Vorgehen zur Evaluation

Für eine adäquate Evaluation ist es nach BLESSING und CHAKRABARTI wichtig, die Anwender der entwickelten Unterstützung einzubinden [BC09, S. 36]. Aus diesem Grund wurde die entwickelte Systematik im Rahmen von Anwender-Interviews evaluiert. Interviewt wurden dabei die Projektleiter der vier Unternehmen, deren Anwendungsbeispiele im Rahmen des Forschungsprojekts DizRuPt behandelt wurden und in Abschnitt 5.1 beschrieben sind. Tabelle 5-1 gibt einen Überblick über die Interviewpartner.

Tabelle 5-1: Interviewpartner der Evaluationsstudie

Nr.	Position im Unternehmen	Anwendungsbeispiel
1	Leiter Virtual Engineering & Simulation	Hydraulischer Oberdruckhammer
2	Leiter Cross Divisional Digitalization	Remote I/O-System
3	Entwicklungssingenieur	Geldautomat
4	Entwicklungsleiter	Lüftungsgerät

Strukturiert wurden die Interviews anhand von neun Thesen. Zu jeder davon sollten die Interviewpartner bewerten, ob sie ihr zustimmten oder sie ablehnten. Außerdem wurden sie gebeten, ihre Entscheidung umfangreich zu begründen.

Die ersten sechs Thesen bezogen sich auf die Anwendungsevaluation. Jedes der drei betrachteten Artefakte (Referenzprozess sowie die beiden Methoden) wurde mit zwei Thesen adressiert, wobei die erste These jeweils die Benutzbarkeit und die zweite These die

Eignung des Artefakts fokussierte. Tabelle 5-2 zeigt die sechs Thesen zur Anwendungsevaluation.

Tabelle 5-2: Thesen zur Anwendungsevaluation

Nr.	These
<i>Referenzprozess</i>	
1	Der Referenzprozess lässt sich in der Praxis gut durchführen.
2	Der Referenzprozess unterstützt die erfolgreiche Durchführung von Betriebsdaten-Analysen in der Praxis.
<i>Methode zur Planung von Betriebsdaten-Analysen</i>	
3	Die Methode zur Planung von Betriebsdaten-Analysen lässt sich in der Praxis gut durchführen.
4	Die Anwendung der Methode ermöglicht die erfolgreiche Planung von Betriebsdaten-Analysen.
<i>Methode zur Verwertung von Betriebsdaten-Analysen</i>	
5	Die Methode zur Verwertung von Betriebsdaten-Analysen lässt sich in der Praxis gut durchführen.
6	Die Anwendung der Methode ermöglicht die erfolgreiche Verwertung von Betriebsdaten-Analysen in der Produktplanung.

Zweck der letzten drei Thesen ist die Erfolgsevaluation. Diese Thesen betreffen die gesamte Systematik und beschreiben ihren Beitrag zur Realisierung der Vorteile der Betriebsdaten-gestützten Produktplanung (Abschnitt 2.3.2). Der erste dort aufgeführte Vorteil *Umfassende Datenbasis* wird in der Evaluation jedoch nicht betrachtet, da dies vor allem Teil des in der Systematik nicht weiter betrachteten zweiten Hauptprozesses der Betriebsdaten-gestützten Produktplanung ist. Die drei Thesen zur Erfolgsevaluation sind in Tabelle 5-3 aufgeführt.

Tabelle 5-3: Thesen zur Erfolgsevaluation

Nr.	These
1	Die entwickelten Prozesse und Methoden unterstützen Anwender dabei, ein besseres Verständnis über die Betriebsphase des eigenen Produkts zu erlangen.
2	Die entwickelten Prozesse und Methoden unterstützen Anwender dabei, ein besseres Kunden- und Nutzerverständnis zu erlangen.
3	Die entwickelten Prozesse und Methoden unterstützen Anwender dabei, Produktstrategien und Pläne für Produktverbesserungen valider zu gestalten.

5.2.2 Anwendungsevaluation des Referenzprozesses

These 1: *Der Referenzprozess lässt sich in der Praxis gut durchführen.*

Alle vier Interviewpartner stimmten der These zur Benutzbarkeit des Referenzprozesses zu. Interviewpartner 2 bezeichnete den Referenzprozess als sehr systematische und sehr gut nachvollziehbare Vorgehensweise. Dieser helfe insbesondere Unternehmen, die sich

dem neuen Thema der Betriebsdaten-gestützten Produktplanung erstmals widmeten. Für die erstmalige Durchführung der Betriebsdaten-gestützten Produktplanung stelle der Referenzprozess „*einen hervorragenden Leitfaden*“ dar (Interviewpartner 2). Aber auch für Unternehmen mit umfangreicheren DA-Erfahrungen böte der Referenzprozess ein geeignetes Vorgehen (Interviewpartner 3). Interviewpartner 1 gefiel besonders, dass der Referenzprozess es schaffte, ein interdisziplinäres Team aus verschiedenen Fachbereichen zu erreichen und mitzunehmen. Als Erfolgsfaktoren für die Anwendung betrachtete er die Anleitung und Moderation. Ähnlich äußerte sich Interviewpartner 2. Er stellte fest, dass einzelne Schritte und Methoden einer Erklärung und gemeinsamen Erarbeitung bedürften, da Praktiker ihren Zweck zunächst nicht einschätzen und sie eventuell als zu aufwendig bewerten könnten. Interviewpartner 4 stellte in den Raum, dass kleinere Unternehmen mit geringeren Ressourcen gegebenenfalls einzelne Schritte weniger umfangreich durchführen würden.

These 2: *Der Referenzprozess unterstützt die erfolgreiche Durchführung von Betriebsdaten-Analysen in der Praxis.*

Neben der Benutzbarkeit bestätigten alle Interviewpartner auch die Eignung des Referenzprozesses für die Aufgabenstellung. Als Beispiele dafür stellten sie ihre erzielten Ergebnisse im gemeinsamen Konsortialforschungsprojekt DizRuPt heraus. Interviewpartner 3 hob hervor, dass das grundsätzliche Vorgehen mit den vier Hauptprozessen die Praxis gut abbilde und auch erfahreneren Unternehmen noch prozessuale und methodische Verbesserungspotentiale aufzeigen könne. Interviewpartner 2 stellte heraus, dass der Referenzprozess als Leitfaden vor allem noch unerfahrenen Unternehmen aufzeige, wie die Betriebsdaten-gestützte Produktplanung in der Praxis ablaufen solle. Das Zusammenspiel von Hauptprozessen, Phasen und Schritten innerhalb des Referenzprozesses wurde als logisch und gut verknüpft bezeichnet (Interviewpartner 4). Der Referenzprozess stelle damit ein objektives Vorgehen sicher und schränke Alleingänge voreingenommener Personen in der strategischen Produktplanung ein. Darüber hinaus bemerkte Interviewpartner 4, dass der Referenzprozess im Projekt gewährleistet hätte, dass alle beteiligten Praxis- und Forschungspartner die gleiche Terminologie verwendeten. Interviewpartner 3 sah den Nutzen des Referenzprozesses auch über die strategische Produktplanung hinaus. Er stellte fest, dass er Potentiale sehe, zahlreiche Aspekte auch im Bereich des Services und der Wartung der Produkte übernehmen zu können.

5.2.3 Anwendungsevaluation der Methode zur Planung von Betriebsdaten-Analysen in der strategischen Produktplanung

These 3: *Die Methode zur Planung von Betriebsdaten-Analysen lässt sich in der Praxis gut durchführen.*

Die Benutzbarkeit der Methode zur Planung von Betriebsdaten-Analysen in der Praxis wurde von allen Interviewpartnern bestätigt. Interviewpartner 1 betonte dabei, dass der rote Faden der Methode stets sichtbar gewesen sei. Die Einbettung in die vorhandenen

Produktplanungsprozesse wurde von Interviewpartner 3 angesprochen: Er gab an, dass er diese Methode immer dann durchlaufen wolle, wenn eine neue Produktgeneration geplant würde. Als Erfolgsfaktor nannten die Interviewpartner 1 und 4, dass die Anwendung der Methode angeleitet und von einem Experten begleitet wird – so wie es in den Anwendungsbeispielen des Konsortialforschungsprojekts DizRuPt der Fall war. Denn beide Interviewpartner konnten sich jeweils an einen Schritt erinnern, bei dem sie die Anleitung und Moderation als notwendig erachteten. Im Fall von Interviewpartner 1 war dies die Erarbeitung der Produktstrategie, für Interviewpartner 4 die Aufstellung der CONSENS-Modelle. Als ein Verbesserungspotential für die Anwendung in der Praxis nannte Interviewpartner 2 eine vereinfachte Form der Dokumentation der Use Cases. Als Beispiel zog er dabei User Stories heran, die als formalisiertes Mantra in der Praxis sehr hilfreich seien.

These 4: *Die Anwendung der Methode ermöglicht die erfolgreiche Planung von Betriebsdaten-Analysen.*

Die Eignung der Methode wurde ebenfalls von allen Interviewpartnern bestätigt. Interviewpartner 2 stellte dabei fest, dass Anwendern „am Ende ein valides, belastbares Ergebnis“ vorliegen würde, wenn sie dieser Methode folgen. Auch Interviewpartner 1 gab an, dass die Methode die Anwender zielgerichtet zum Ergebnis leite. Als besonders wertvoll erachteten Interviewpartner 2 und 3, dass die Methode ihre Unternehmen auf ganz neue Ideen gebracht habe, was sie mit Betriebsdaten in der strategischen Planung neuer Produktgenerationen anfangen könnten. Die Identifizierung relevanter Untersuchungsbedarfe erachteten sie als sehr wichtige Phase der Methode. Die Interviewpartner 1, 2 und 4 hoben hervor, dass es nicht nur bei ersten Ideen blieb, sondern am Ende der Methode konkrete Vorhaben mit definierten Zielen und Rahmenbedingungen standen, „die schon auf Konsistenz geprüft wurden und angewendet werden können“ (Interviewpartner 1). Interviewpartner 4 lobte die systematische Dokumentation der Ergebnisse der Methode, da diese die Nachverfolgbarkeit in der Praxis sicherstellen würde. Interviewpartner 2 gab zu bedenken, dass Anwender in der Praxis die Durchführung der Analytics-Potentialanalyse kritisch beäugen könnten, da sie ihr eigenes Unternehmen zu kennen meinen. In so einem Fall ist es zentral, den Nutzen dieser Analyse für die Definition von Zielen und Rahmenbedingungen zu erklären. Die anderen Interviewpartner sprachen dieses Thema nicht an.

5.2.4 Anwendungsevaluation der Methode zur Verwertung von Betriebsdaten-Analysen in der strategischen Produktplanung

These 5: *Die Methode zur Verwertung von Betriebsdaten-Analysen lässt sich in der Praxis gut durchführen.*

Alle vier Interviewpartner bestätigten und lobten die Benutzbarkeit der Methode zur Verwertung von Betriebsdaten-Analysen in der strategischen Produktplanung. Die Inter-

viewpartner 1 und 3 unterstrichen das systematische Vorgehen und die gute Durchführbarkeit der Methode. Interviewpartner 1 sagte, dass der rote Faden der Methode erkennbar und sehr hilfreich sei. Außerdem sei jederzeit nachvollziehbar, was das Ziel des jeweiligen Schritts sei. Ein weiterer Aspekt, der insbesondere von den Interviewpartnern 1 und 2 gelobt wurde, war die Effizienz der Methode. Diese ließe sich „*innerhalb eines vernünftigen Zeitrahmens*“ durchführen (Interviewpartner 2). Insgesamt wurde diese Methode auch als intuitiv verständlicher wahrgenommen als die Methode zur Planung von Betriebsdaten-Analysen in der strategischen Produktplanung. Interviewpartner 4 merkte in diesem Zusammenhang an, dass die Methode näher an der bekannten Produktplanungs- und Entwicklungspraxis sei.

These 6: *Die Anwendung der Methode ermöglicht die erfolgreiche Verwertung von Betriebsdaten-Analysen in der Produktplanung.*

Ebenso bescheinigten alle Interviewpartner der Methode ihre Eignung für die Aufgabenstellung. Während Interviewpartner 3 dabei zur Begründung auf das eigene Anwendungsbeispiel verwies, zogen die Interviewpartner 1 und 2 Vergleiche zur Methode zur Planung von Betriebsdaten-Analysen in der strategischen Produktplanung. Ähnlich wie bei dieser sahen sie auch die Methode zur Verwertung von Betriebsdaten-Analysen als sehr systematisch und zielführend an. Interviewpartner 2 war sich dabei sicher, dass die Anwendung der Methode zu einer validen aktualisierten Produktstrategie führe, die nicht nur Ziele für neue Produktgenerationen definiert, sondern auch den Weg dahin beschreibt. Interviewpartner 1 meinte ebenfalls, dass die Methode in einem sinnhaften und konsistenten Plan resultiere, den das jeweilige Unternehmen dann weiterverfolgen könne. Laut Interviewpartner 4 war besonders hilfreich, dass die Methode zeige, wie und wo sich die Ergebnisse der Betriebsdaten-Analyse auswirken. Dies würde es zahlreichen Mitarbeitern ermöglichen, neue Kenntnisse zu erlangen. Einen weiteren Beleg für die Eignung der Methode lieferte ebenfalls Interviewpartner 4: Er wies darauf hin, dass er die Methode bereits in einem anderen Projekt einsetzen würde.

5.2.5 Erfolgsevaluation der Systematik

These 7: *Die entwickelten Prozesse und Methoden unterstützen Anwender dabei, ein besseres Verständnis über die Betriebsphase des eigenen Produkts zu erlangen.*

Dieser These stimmten alle vier Interviewpartner mit großer Überzeugung zu. Interviewpartner 2 zeigte sich überzeugt, dass durch die strukturierte Herangehensweise der Systematik Erkenntnisgewinne und ein besseres Verständnis der Betriebsphase der betrachteten Produkte erzielt werden können. Dies stellte er als sehr wertvoll dar, da die Betriebsphase bisher in der Mehrheit der Unternehmen eine Blackbox darstellen würde, über die es kaum Informationen gäbe. Perspektivisch schaffe die Systematik jedoch die Möglichkeit, ein breites Verständnis der Betriebsphase aufzubauen und sich nicht nur auf

Informationen von wenigen Produkten ausgewählter Referenzkunden zu stützen. Interviewpartner 1 und 3 stimmten der These auch zu, da die Systematik eine intensive Beschäftigung mit dem Betrieb des eigenen Produkts erfordere. So würden aktiv wichtige Fragen angeregt und das Produkt aus neuen Blickwinkeln betrachtet. Deshalb sei nach Interviewpartner 2 auch im Falle eines Fehlschlagens der Betriebsdaten-Analyse zu erwarten, dass das Verständnis über den Betrieb des Produkts wächst. Interviewpartner 4 betonte, dass die Systematik die Komplexität der Aufgabenstellung für ihn beherrschbar gemacht und es ihm ermöglicht habe, ein besseres Verständnis über sein Produkt aufzubauen und auch darzustellen.

These 8: *Die entwickelten Prozesse und Methoden unterstützen Anwender dabei, ein besseres Kunden- und Nutzerverständnis zu erlangen.*

Im Gegensatz zur vorangegangenen These konnten die Interviewpartner diese These nicht auf Basis ihrer eigenen Erfahrungen und Use Cases beurteilen. Dies lag daran, dass keines der Unternehmen einen Use Case verfolgt hatte, in dem das Kunden- und Nutzerverständnis im Vordergrund stand. Die Interviewpartner mussten diese These somit auf Basis ihrer Erwartungen beurteilen. Zuversichtlich zeigten sich dabei die Interviewpartner 1, 3 und 4. Sie waren sich sicher, dass Unternehmen über die Analyse der Betriebsdaten Erkenntnisse über Kunden und Nutzer gewinnen und damit ihr Verständnis dieser Gruppen verbessern können. Gleichzeitig trauten sie es der Systematik zu, diesen Prozess adäquat zu unterstützen und die gewonnenen Erkenntnisse in der strategischen Planung neuer Produktgenerationen zu verwerten. Interviewpartner 2 schränkte jedoch ein, dass die ausschließliche Analyse von Betriebsdaten zum Aufbau eines verbesserten Kunden- und Nutzerverständnisses wie der „*Blick durch ein Schlüsselloch*“ sei. Dabei würden wichtige Kontextdaten und -informationen nicht erfasst, z. B. die Gründe für bestimmte Einstellungen des Produkts oder vor- und nachgelagerte Prozessschritte. Wenn diese fehlten, würde auch der Einsatz der Systematik nicht sicherstellen, dass etwas über die Kunden und Nutzer gelernt würde.

These 9: *Die entwickelten Prozesse und Methoden unterstützen Anwender dabei, Produktstrategien und Pläne für Produktverbesserungen valider zu gestalten.*

Der abschließenden These stimmten alle Interviewpartner vollständig zu. Dies liegt zum einen an der neuen Form der Erkenntnisgewinnung durch Betriebsdaten in der strategischen Produktplanung. Interviewpartner 4 betonte in diesem Zusammenhang, dass die eher quantitativen Betriebsdaten im Gegensatz zu eher qualitativen Daten und Informationen, die traditionell in der strategischen Produktplanung analysiert wurden (Abschnitt 2.2.1), eine höhere Objektivität suggerierten. Außerdem können sie von deutlich mehr Kunden und Nutzern erhoben werden, als es mit herkömmlichen Methoden möglich wäre (Interviewpartner 2). Zum anderen sagten die Interviewpartner aber auch explizit, dass die entwickelte Systematik die Validität der strategischen Planung neuer Produktgenerationen erhöht. Laut den Interviewpartnern 1, 3 und 4 ist dafür vor allem der systematische

Verwertungsprozess der Datenanalyse-Ergebnisse entscheidend. Als Beispiele nannten die Interviewpartner dabei die umfangreiche Interpretation der Datenanalyse-Ergebnisse (Interviewpartner 4) sowie die multiperspektivische Bewertung der Verbesserungsideen für das Produkt (Interviewpartner 1). Interviewpartner 3 nannte außerdem die umfangreiche und nachvollziehbare Dokumentation des Vorgehens als wichtigen Faktor für die Validität.

5.2.6 Fazit zur Evaluation

Die Anwendungsevaluation des Referenzprozesses und der beiden Methoden liefert sehr positive Ergebnisse. Alle der drei evaluierten Artefakte wurden von den Interviewpartnern als in der Praxis anwendbar und nützlich beschrieben. Den Referenzprozess beurteilten die Interviewpartner als strukturiertes und praxistaugliches Vorgehen. Vor allem für unerfahrene Unternehmen stelle der Prozess einen nachvollziehbaren Leitfaden dar. Der Methode zur Planung von Betriebsdaten-Analysen in der strategischen Produktplanung bescheinigten die Interviewpartner, dass sie die Identifizierung Erfolg versprechender Ideen und deren Überführung in umsetzbare Use Cases ermögliche. Für die Methode zur Verwertung von Betriebsdaten-Analysen in der strategischen Produktplanung hoben die Interviewpartner ihre Effizienz und Verständlichkeit hervor. Außerdem zeigten sie sich sicher, dass die Methode zu konsistenten Plänen für Produktverbesserungen in neuen Generationen führe. Vor dem Hintergrund dieser Beurteilung des Referenzprozesses und der beiden Methoden werden alle sechs Thesen der Anwendungsevaluation ohne Einschränkung als bestätigt angenommen. Tabelle 5-4 stellt das Ergebnis der Anwendungsevaluation dar.

Tabelle 5-4: Ergebnis der Anwendungsevaluation

Nr.	These	Ergebnis der Evaluation
<i>Referenzprozess</i>		
1	Der Referenzprozess lässt sich in der Praxis gut durchführen.	These angenommen
2	Der Referenzprozess unterstützt die erfolgreiche Durchführung von Betriebsdaten-Analysen in der Praxis.	These angenommen
<i>Methode zur Planung von Betriebsdaten-Analysen</i>		
3	Die Methode zur Planung von Betriebsdaten-Analysen lässt sich in der Praxis gut durchführen.	These angenommen
4	Die Anwendung der Methode ermöglicht die erfolgreiche Planung von Betriebsdaten-Analysen.	These angenommen
<i>Methode zur Verwertung von Betriebsdaten-Analysen</i>		
5	Die Methode zur Verwertung von Betriebsdaten-Analysen lässt sich in der Praxis gut durchführen.	These angenommen
6	Die Anwendung der Methode ermöglicht die erfolgreiche Verwertung von Betriebsdaten-Analysen in der Produktplanung.	These angenommen

Die Erfolgsevaluation der Systematik fällt ebenfalls positiv aus. Alle Interviewpartner bestätigten, dass die entwickelte Systematik Anwender dabei unterstützt, ein besseres

Verständnis über die Betriebsphase des eigenen Produkts zu erlangen. Während sie diese These anhand ihrer eigenen Anwendungsbeispiele beurteilen konnten, galt dies nicht für die zweite These. Da kein Anwendungsbeispiel die Analyse von Kunden und Nutzern fokussiert hatte, mussten die Interviewpartner diese anhand ihrer Erwartungen beurteilen. Dabei trauten sie der Systematik zu, zu einem besseren Kunden- und Nutzerverständnis beizutragen. Jedoch sei dies aufgrund voraussichtlich nicht verfügbarer Kontextdaten und -informationen der Kunden und Nutzer deutlich schwieriger als ein besseres Verständnis über das eigene Produkt aufzubauen. Die These kann aufgrund der spekulativen Natur der Antworten und der geäußerten Bedenken nur mit Einschränkungen angenommen werden und muss weiter untersucht werden. Die abschließende These zur valideren Gestaltung von Produktstrategien und Plänen für Produktverbesserungen bestätigten alle Interviewpartner umfänglich. Neben der Erhöhung der Validität in Folge quantitativer Datenanalyse-Ergebnisse benannten sie auch den systematischen Verwertungsprozess als Erfolgsfaktor für die hohe Validität erzielter Ergebnisse. Das Ergebnis der Erfolgsevaluation ist in Tabelle 5-5 zusammengefasst.

Tabelle 5-5: Ergebnis der Erfolgsevaluation

Nr.	These	Ergebnis der Evaluation
1	Die entwickelten Prozesse und Methoden unterstützen Anwender dabei, ein besseres Verständnis über die Betriebsphase des eigenen Produkts zu erlangen.	These angenommen
2	Die entwickelten Prozesse und Methoden unterstützen Anwender dabei, ein besseres Kunden- und Nutzerverständnis zu erlangen.	These mit Einschränkungen angenommen
3	Die entwickelten Prozesse und Methoden unterstützen Anwender dabei, Produktstrategien und Pläne für Produktverbesserungen valider zu gestalten.	These angenommen

6 Zusammenfassung, Limitationen und Ausblick

“The world needs dreamers and the world needs doers. But above all, the world needs dreamers who do.” – SARAH BAN BREATHNACH [Ban95]

In Folge des technologischen Fortschritts stehen produzierenden Unternehmen zunehmend umfangreiche Betriebsdaten ihrer Produkte zur Verfügung. In der strategischen Produktplanung können sie diese mit Data-Analytics-Lösungen analysieren, um neues Wissen über ihre Produkte, Kunden und Nutzer zu generieren und produktstrategische Entscheidungen abzusichern. Dies stellt für produzierende Unternehmen und die verantwortlichen Produktmanager jedoch eine große Herausforderung dar. Das Thema dieser Arbeit ist daher die Planung und Verwertung von Betriebsdaten-Analysen in der strategischen Produktplanung.

Nach der thematischen und forschungsmethodischen Einleitung der Arbeit in **Kapitel 1** wird in **Kapitel 2** eine detaillierte Problemanalyse vorgestellt. In dieser zeigt sich, dass der strategischen Planung neuer Produktgenerationen eine große Bedeutung für den zukünftigen Erfolg des Produkts zukommt. Studien zeigen jedoch, dass Unternehmen große Defizite bei der Identifizierung relevanter Verbesserungspotentiale aufweisen. Insbesondere das Potential, Erkenntnisse aus dem Betrieb der Produkte zu gewinnen, wird bis dato kaum ausgeschöpft. Durch die fortschreitende Digitalisierung ergibt sich jedoch eine neue Lösungsalternative für dieses bekannte Problem: Immer mehr Produkte werden zu cyber-physischen Systemen und stellen über eine digitale Netzinfrastruktur umfangreiche Betriebsdaten zur Verfügung. Mit leistungsstarken Data-Analytics-Lösungen können diese Daten systematisch auf Verbesserungspotentiale untersucht werden. Ein vielversprechender Anwendungsfall für derartige Datenanalysen ist die sogenannte Betriebsdaten-gestützte Produktplanung. Sie verspricht ein besseres Verständnis der Produkte sowie ihrer Kunden und Nutzer und – in der Folge – validere produktstrategische Entscheidungen. Für Produktmanager, die verantwortlich für die Planung neuer Produktgenerationen sind, ruft der Einsatz von Data Analytics jedoch diverse Herausforderungen hervor. Diese betreffen insbesondere die Integration von Betriebsdaten-Analysen in die strategische Produktplanung sowie die Planung und Verwertung der Betriebsdaten-Analysen in der strategischen Produktplanung. Durch die Analyse der Literatur und empirische Untersuchungen werden die Schlüsselfaktoren zur Bewältigung dieser Herausforderungen identifiziert. Sie liefern die Anforderungen an die zu entwickelnde Systematik.

In **Kapitel 3** wird auf Basis der Anforderungen der Stand der Forschung untersucht. Zunächst werden dabei konkurrierende Ansätze zur Betriebsdaten-gestützten Produktplanung und -entwicklung analysiert. Dabei zeigt sich, dass kein bestehender Ansatz die Anforderungen erfüllt. Im Anschluss werden ergänzende Ansätze zum Einsatz von Data Analytics sowie zur Produktgenerationsplanung begutachtet. Diese haben nicht den Anspruch, alle Anforderungen zu erfüllen; sie adressieren aber wichtige Aspekte, die von

den konkurrierenden Ansätzen nicht ausreichend berücksichtigt werden. Mit ihrer Analyse wird geprüft, ob eine Kombination konkurrierender und ergänzender Ansätze die Anforderungen erfüllen würde. Dabei zeigt sich, dass auch dies nicht der Fall ist. Vor diesem Hintergrund wird zum Abschluss des Kapitels der verbleibende Handlungsbedarf definiert.

Die entwickelte Systematik wird in **Kapitel 4** vorgestellt. Sie befähigt Produktmanager zur Betriebsdaten-gestützten Produktplanung und besteht aus vier Bestandteilen:

- (1) Das **Referenzmodell für die strategische Planung neuer Produktgenerationen** überführt die klassische strategische Produktplanung in den Produktgenerationskontext und stellt damit einen grundsätzlichen Handlungsrahmen für die strategische Planung neuer Produktgenerationen dar. In seinem Aufbau ist es angelehnt an den ersten Zyklus des *Referenzmodells der strategischen Planung und integrativen Entwicklung von Marktleistungen* nach GAUSEMEIER [GDE+19, S. 90], inhaltlich basiert es auf einer Theorie zur strategischen Planung neuer Produktgenerationen, die mit der Grounded-Theory-Methodologie hergeleitet wurde.
- (2) Der **Referenzprozess für die Betriebsdaten-gestützte Produktplanung** beschreibt ein grundsätzliches Vorgehen zur Planung, Vorbereitung, Durchführung und Verwertung von Betriebsdaten-Analysen in der strategischen Produktplanung. Für produzierende Unternehmen stellt der Referenzprozess einen Leitfaden dar, der ihnen den Ablauf der Betriebsdaten-gestützten Produktplanung erklärt. Neben dem Ablauf werden dabei auch insbesondere die Schnittstellen von Produktmanagern und Datenexperten verdeutlicht. Um die inhaltliche Anschlussfähigkeit sicherzustellen, baut der Referenzprozess auf den Vorgaben des *Referenzmodells für die strategische Planung neuer Produktgenerationen* auf.
- (3) Die **Methode zur Planung von Betriebsdaten-Analysen in der strategischen Produktplanung** führt Anwender methodisch durch den ersten Hauptprozess des Referenzprozesses – von der Identifizierung relevanter Untersuchungsbedarfe bis zur Konkretisierung eines Use Cases. Neben dem Vorgehen beinhaltet die Methode auch dediziertes Gestaltungswissen zur Betriebsdaten-gestützten Produktplanung. Dieses setzt sich aus einer Betriebsdaten-Klassifikation und generischen Use Cases zusammen. Die generischen Use Cases sind mit der Betriebsdaten-Klassifikation verknüpft und ebenso wie die von ihnen adressierten generischen Nutzelemente in einem Kartenset Workshop-tauglich aufbereitet.
- (4) Die **Methode zur Verwertung von Betriebsdaten-Analysen in der strategischen Produktplanung** liefert die methodische Ausgestaltung des vierten Hauptprozesses des Referenzprozesses und gibt damit vor, wie vorhandene Datenanalyse-Ergebnisse systematisch in der strategischen Produktplanung verwertet werden. Mit Ausnahme der ersten Phase, welche die Interpretation der Datenanalyse-Ergebnisse fokussiert, reflektieren die weiteren Phasen dabei die Hauptaufgaben des Referenzmodells für die strategische Planung neuer Produktgenerationen. Um dabei die umfassende Verwertung der Datenanalyse-Ergebnisse sicherzustellen,

verwendet die Methode weiteres Gestaltungswissen in Form von *Gestaltungsprinzipien für die Verwertung von Datenanalyse-Ergebnissen*, die im Rahmen der vorliegenden Arbeit hergeleitet wurden.

In der abschließenden Unterstützungsevaluation wird festgestellt, dass die Systematik die an sie gestellten Anforderungen erfüllt.

In **Kapitel 5** werden die Anwendung und Evaluation der Systematik beschrieben. Die Systematik wurde mit vier Anwenderunternehmen mit sehr unterschiedlichen Produkten und Ausgangssituationen erprobt und in allen Fällen vollständig und erfolgreich durchlaufen. Die Anwendungsevaluation mit den beteiligten Unternehmensvertretern zeigt, dass die Systematik sowohl benutzbar als auch für die Aufgabe geeignet ist. Die Erfolgsevaluation der Systematik fällt ebenfalls positiv aus. Die befragten Unternehmensvertreter sind sich sicher, dass die Systematik das Produktverständnis verbessert und zu validen produktstrategischen Entscheidungen führt. Lediglich hinsichtlich der Verbesserung des Kunden- und Nutzerverständnisses ergeben sich aus den Anwendungsbeispielen und den Rückmeldungen der Unternehmensvertreter einzelne Einschränkungen. Zusammengefasst erfüllt die entwickelte Systematik die an sie gestellten Anforderungen und kann in Folge der Anwendungs- und Erfolgsevaluation auch als hinreichend validiert erklärt werden.

Gleichwohl unterliegt die Arbeit auch einigen **Limitationen**. Die Wesentliche ist dabei die Anzahl der Anwendungsbeispiele, welche ein gängiges Problem gestaltungsorientierter Forschung darstellt. Denn obwohl sich die Anwendungsbeispiele durch sehr unterschiedliche Charakteristika auszeichnen und damit unterschiedliche Arten produzierender Unternehmen repräsentieren, ist der Umfang der Anwendungsbeispiele zu gering, um eine allgemeingültige Validität der Systematik zu proklamieren. Die Evaluation liefert eher glaubwürdige Hinweise, dass die Systematik viele unterschiedliche Unternehmen erfolgreich zur Betriebsdaten-gestützten Produktplanung befähigen kann. Eine weitere Limitation ist der begrenzte Zeitraum zur Evaluation der Systematik. Der Erfolg von Aktivitäten der strategischen Produktplanung lässt sich erst einige Jahre später messen, wenn das geplante Produkt tatsächlich am Markt erfolgreich ist. Eine derartig lange Begleitung der Produkte wurde im Rahmen der vorliegenden Arbeit nicht vorgenommen. Vielmehr wurde der Erfolgsbeitrag der Systematik von deren Anwendern auf Basis der eigenen Erfahrungen geschätzt. Darüber hinaus besitzen auch die einzelnen Elemente der Systematik ihre jeweils eigenen Limitationen. Aufgrund des Umfangs werden diese hier nicht aufgeführt; sie sind jedoch den jeweiligen Vorveröffentlichungen zu entnehmen.

Vor diesem Hintergrund ergibt sich **weiterer Forschungsbedarf**. Um die Limitationen der vorliegenden Arbeit zu adressieren, sind weitere Studien erforderlich, in denen die Anwendung und Evaluation der Systematik weiter ausgeführt werden. Die Systematik sollte dabei planvoll mit möglichst unterschiedlichen produzierenden Unternehmen eingesetzt werden, um Unterschiede in der Anwendung und in den Ergebnissen festzustellen. Außerdem sollten die Unternehmen im Nachgang in regelmäßigen Abständen zu den

Auswirkungen und dem Beitrag der Betriebsdaten-gestützten Produktplanung zum Erfolg ihrer Produkte befragt werden. Hier bietet sich eine regelmäßige quantitative Datenerhebung an, mit der sowohl die betrachteten Unternehmen untereinander verglichen werden können als auch ihre Entwicklung über die Zeit.

Inhaltlich treten vier konkrete Forschungsbedarfe hervor: (1) Es sollte geprüft werden, wie das bewährte Vorgehen der strategischen Produktplanung mit dem vorgeschlagenen neuen Vorgehen bestmöglich kombiniert werden kann. Angelehnt an die Lean-Startup-Methode nach RIES [Rie11] ist dabei denkbar, dass das bewährte Vorgehen zur regelmäßigen Generierung vielversprechender Hypothesen und Fragen in Form neuer Nutzenelemente eingesetzt wird, die im Anschluss direkt mit den Betriebsdaten überprüft werden. So könnte ein neues, agiles Vorgehen zur strategischen Produktplanung entstehen. (2) Für Produktmanager stellt sich darüber hinaus die Frage, für welche weiteren Aufgaben sie die vorhandenen Betriebsdaten-Analysen noch einsetzen können. Es sollte daher geprüft werden, inwiefern Synergiepotentiale zwischen der Betriebsdaten-gestützten Produktplanung und weiteren Produktmanagement-Aufgaben bestehen. Im Idealfall können damit die gleichen Betriebsdaten für mehrere Produktmanagement-Aufgaben genutzt werden [DKM23, S. 140]. (3) Aus der Erfolgsevaluation ging hervor, dass die alleinige Analyse von Betriebsdaten mitunter nur „*dem Blick durch ein Schlüsselloch*“ gleicht und für tiefere Erkenntnisse über die Motive der Kunden nicht ausreichend sein könnte. Aus dieser Vermutung erwächst der Forschungsbedarf, die Integration weiterer Datenarten wie Social-Media-Daten zu erforschen und die Betriebsdaten-gestützte Produktplanung damit zu einer allgemeinen datengestützten Produktplanung weiterzuentwickeln. Denn je heterogener die zu analysierenden Daten und je leistungsstärker die durchgeführten Analysen sind, desto tiefere Erkenntnisse können auch generiert werden [PH15, S. 104]. (4) Abschließend ist die Systematik in den wachsenden Stand der Forschung zum Leitbild *Advanced Systems Engineering* zu integrieren. Für dieses beschreiben DUMITRESCU ET AL. unter dem Aspekt des Advanced Engineerings die Notwendigkeit der Integration von Betriebsdaten-Analysen in den Produktentstehungsprozess [DAR+21, S. 87]. Die entwickelte Systematik adressiert dies für die strategische Produktplanung und muss durch weitere Forschung mit den anderen Phasen der Produktentstehung verknüpft werden.

Abkürzungsverzeichnis

BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung
CPS	Cyber-physisches System
CRISP-DM	Cross Industry Standard Process for Data Mining
DA	Data Analytics
DIKW	Data, Information, Knowledge, Wisdom
DRM	Design Research Methodology
DS-I	Deskriptive Studie I
DS-II	Deskriptive Studie II
ITS	Intelligente technische Systeme
KDD	Knowledge Discovery in Databases
MECE	Mutually exclusive, collectively exhaustive
PE	Produktentwicklung
PG	Produktgeneration
PGE	Produktgenerationsentwicklung
PNI	Produktnutzungs-Informationen
PP	Produktplanung
PS	Präskriptive Studie
SGE	Systemgenerationsentwicklung
SOP	Start of Production
SP	Strategische Planung
SPP	Strategische Produktplanung
WFK	Workshop mit dem Forschungskonsortium
ZIK	Ziel-Ideen-Kombination

Literaturverzeichnis

- [Aa15] Smart Service Welt – Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Internetbasierte Dienste für die Wirtschaft. Abschlussbericht. Berlin, 2015
- [ABH+20] ALBERS, A.; BRAUN, A.; HEIMICKE, J.; RICHTER, T.: Der Prozess der Produktentstehung. In: Moeller, E. (Hrsg.): Handbuch Leichtbau – Methoden, Werkstoffe, Fertigung. 2. Auflage, Hanser, München, 2020, S. 1–35
- [ABM+05] ALBERS, A.; BURKARDT, N.; MEBOLDT, M.; SAAK, M.: SPALTEN problem solving methodology in the product development: DS 35: Proceedings ICED 05, the 15th International Conference on Engineering Design. 15.-18. August 2005, Melbourne, Australia, 2005, S. 1–12
- [ABR17] ALBERS, A.; BURSAC, N.; RAPP, S.: PGE – Produktgenerationsentwicklung am Beispiel des Zweimassenschwungrads. Forschung im Ingenieurwesen, (81)1, 2017, S. 13–31
- [ABU+14] ALBERS, A.; BURSAC, N.; URBANEC, J.; LÜDCKE, R.; RACHENKOVA, G.: Knowledge Management in Product Generation Development – an empirical study. In: Krause, D.; Paetzold, K.; Wartzack, S. (Hrsg.): Design for X – Beiträge zum 25. DfX-Symposium. Oktober 2014, Bamberg, TUHH Universitätsbibliothek, 2014, S. 13–24
- [ABW15a] ALBERS, A.; BURSAC, N.; WINTERGERST, E.: Product Generation Development – Importance and Challenges from a Design Research Perspective. In: Mastorakis, N. E. (Hrsg.): New Developments in Mechanics and Mechanical Engineering – Proceedings of the International Conference on Mechanical Engineering (ME 2015), 2015, S. 16–21
- [ABW15b] ALBERS, A.; BURSAC, N.; WINTERGERST, E.: Produktgenerationsentwicklung – Bedeutung und Herausforderungen aus einer entwicklungsmethodischen Perspektive. In: Binz, Hansgeorg, Bertsche, B.; Bauer, W.; Roth, D. (Hrsg.): Stuttgarter Symposium für Produktentwicklung (SSP). Stuttgart, 2015, S. 1–10
- [ACC18] ALMQUIST, E.; CLEGHORN, J.; CHRISTENSEN, K.: The Elements of Value. Rotman Management Magazine, 2018, S. 19–23
- [Ack99] ACKOFF, R. L.: Ackoff's Best. John Wiley & Sons, New York, 1999
- [ACS18] ALMQUIST, E.; CLEGHORN, J.; SHERER, L.: The B2B Elements of Value. Harvard Business Review, (96)March-April, 2018, S. 72–81
- [AD20] ALBERS, A.; DUMITRESCU, R.: Zukunftsrobuste Produktentwicklung: Systematische Erweiterung des Modells der PGE – Produktgenerationsentwicklung durch Adaption von Methoden der strategischen Produktplanung – Unveröffentlichter Projektantrag. Karlsruhe, 2020
- [ADG+14] ANACKER, H.; DZIWOK, S.; GAUSEMEIER, J.; OESTERSÖTEBIER, F.; POHLMANN, U.; RIEKE, J.; SCHÄFER, W.; TRÄCHTLER, A.: Begriffsdefinitionen. In: Gausemeier, J.; Trächtler, A.; Schäfer, W. (Hrsg.): Semantische Technologien im Entwurf mechatronischer Systeme. Carl Hanser Verlag, München, 2014, S. 25–35

- [ADG+22] ALBERS, A.; DUMITRESCU, R.; GAUSEMEIER, J.; LINDOW, K.; RIEDEL, O.; STARK, R. (Hrsg.): Strategie Advanced Systems Engineering – Leitinitiative zur Zukunft des Engineering- und Innovationsstandorts Deutschland. München, 2022
- [AEL12] ALBERS, A.; EBEL, B.; LOHMEYER, Q.: Systems of Objectives in Complex Product Development. Proceedings of the TMCE 2012, 2012, S. 267–278
- [AER+20] ALBERS, A.; EBERTZ, J.; RAPP, S.; HEIMICKE, J.; KÜRTE, C.; ZIMMERMANN, V.; BAUSE, K.; BLATTNER, R.: Produktgeneration 1 im Modell der PGE – Produktgenerationsentwicklung – Verständnis, Zusammenhänge und Auswirkungen in der Produktentwicklung. KIT Scientific Working Papers, Karlsruhe, 2020
- [AG07] AHLEMANN, F.; GASTL, H.: Process Model for an Empirically Grounded Reference Model Construction. In: Fettke, P.; Loos, P. (Eds.): Reference modeling for business systems analysis. Idea Group Publishing, Hershey, PA., 2007, pp. 77–97
- [AH16] ABRAMOVICI, M.; HERZOG, O. (Hrsg.): Engineering im Umfeld von Industrie 4.0: Einschätzungen und Handlungsbedarf (acatech STUDIE). Herbert Utz Verlag, München, 2016
- [AHH+19] ALBERS, A.; HAUG, F.; HEITGER, N.; FAHL, J.; HIRSCHTER, T.: Entwicklungsgenerationen zur Steuerung der PGE – Produktgenerationsentwicklung: Von der Bauteil-zur Funktionsorientierung in der Automobilentwicklung. Stuttgarter Symposium für Produktentwicklung 2019, 2019, S. 253–262
- [AHW+18] ALBERS, A.; HEIMICKE, J.; WALTER, B.; BASEDOW, G. N.; REIß, N.; HEITGER, N.; OTT, S.; BURSAC, N.: Product Profiles: Modelling customer benefits as a foundation to bring inventions to innovations. Procedia CIRP, (70), 2018, S. 253–258
- [AKN20] ADAMENKO, D.; KUNNEN, S.; NAGARAJAH, A.: Digital Twin and Product Lifecycle Management: What Is the Difference? IFIP International Conference on Product Lifecycle Management, Springer, Cham, 2020, pp. 150–162
- [Alb10] ALBERS, A.: Five Hypotheses about Engineering Processes and their Consequences. In: Horvath, I.; Mandorli, F.; Rusak, Z. (Hrsg.): Proceedings of TMCE 2010 Symposium. Ancona, Italien, 2010, S. 343–356
- [Alb20a] ALBERS, A. A.: Systematik zur modellgestützten Produktfindung in der Produktgenerationsplanung. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, Paderborn, 2020
- [Alb20b] ALBERS, A.: Vorwort: In: Yan, S. L.: Vernetzte Validierungsumgebungen – Ein Beitrag zur Validierung im verteilten Produktentwicklungsumfeld auf Basis des IPEK-X-in-the-Loop-Ansatzes am Beispiel der Antriebssystementwicklung. Dissertation, Karlsruher Institut für Technologie, Band 130, Karlsruhe, 2020
- [Alt02] ALTER, S.: The Work System Method for Understanding Information Systems and Information Systems Research. Communications of the Association for Information Systems, (9), 2002

- [ALW+11] ABRAMOVICI, M.; LINDNER, A.; WALDE, F.; FATHI, M.; DIENST, S.: Decision Support for Improving the Design of Hydraulic Systems by Leading Feedback into Product Development: Proceedings of the 18th International Conference on Engineering Design (ICED11). 15-18 August 2011, Copenhagen, Denmark, 2011, S. 1–10
- [APC+16] AURICH, J. C.; PATRICK KÖLSCH; CHRISTOPH F. HERDER; GÜLSÜM MERT: PSS 4.0 – Einflüsse von Industrie 4.0 auf Produkt-Service Systeme. Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, (111)9, 2016, S. 565–568
- [AR22] ALBERS, A.; RAPP, S.: Model of SGE: System Generation Engineering as Basis for Structured Planning and Management of Development. In: Krause, D.; Heyden, E. (Eds.): Design Methodology for Future Products – Data Driven, Agile and Flexible. Springer eBook Collection, Springer International Publishing; Imprint Springer, Cham, 2022, pp. 27–46
- [ARB+16] ALBERS, A.; REISS, N.; BURSAC, N.; RICHTER, T.: The integrated Product engineering Model (iPeM) in context of the product generation engineering. Procedia CIRP, 2016, S. 100–105
- [ARB+17] ALBERS, A.; RAPP, S.; BIRK, C.; BURSAC, N.: Die Frühe Phase der PGE – Produktgenerationsentwicklung. In: Binz, Hansgeorg, Bertsche, B.; Bauer, W.; Roth, D. (Hrsg.): Stuttgarter Symposium für Produktentwicklung (SSP). Stuttgart, 2017, S. 345–354
- [ARF+20] ALBERS, A.; RAPP, S.; FAHL, J.; HIRSCHTER, T.; REVFI, S.; SCHULZ, M.; STÜRMLINGER, T.; SPADINGER, M.: PROPOSING A GENERALIZED DESCRIPTION OF VARIATIONS IN DIFFERENT TYPES OF SYSTEMS BY THE MODEL OF PGE – PRODUCT GENERATION ENGINEERING. Proceedings of the Design Society: DESIGN Conference, (1), 2020, S. 2235–2244
- [ARS+19] ALBERS, A.; RAPP, S.; SPADINGER, M.; RICHTER, T.; BIRK, C.; MARTHALER, F.; HEIMICKE, J.; KURTZ, V.; WESSELS, H.: The Reference System in the Model of PGE: Proposing a Generalized Description of Reference Products and their Interrelations. DS 87-7 Proceedings of the 21st International Conference on Engineering Design (ICED 17) Vol 7: Design Theory and Research Methodology, Vancouver, Canada, 21-25.08.2017, (1)1, 2019, S. 1693–1702
- [ASB16] ALMQUIST, E.; SENIOR, J.; BLOCH, N.: The Elements of Value. Harvard Business Review, (94)September, 2016, S. 46–53
- [ASG+16] ARDOLINO, M.; SACCANI, N.; GAIARDELLI, P.; RAPACCINI, M.: Exploring the Key Enabling Role of Digital Technologies for PSS Offerings. Procedia CIRP, (47), 2016, S. 561–566
- [Aum19] AUMAYR, K. J.: Erfolgreiches Produktmanagement – Tool-Box für das professionelle Produktmanagement und Produktmarketing. 5. Auflage, Springer Gabler, Wiesbaden, 2019
- [Ban95] BAN BREATHNACH, S.: Simple abundance – A daybook of comfort and joy. Warner Books, New York, 1995

- [BAR+21] BRANDT, N.; AHLEMANN, F.; REHRING, K.; REINING, S.: Internet of Things in Product Lifecycle Management – A Review on Value Creation through Product Status Data: AMCIS 2021 Proceedings. 9-13 August 2021, Online, 2021, S. 1–10
- [BB15] BOSCH-SIJTSEMA, P.; BOSCH, J.: User Involvement throughout the Innovation Process in High-Tech Industries. *Journal of Product Innovation Management*, (32)5, 2015, S. 793–807
- [BBC+16] BALASUBRAMANIAN, J.; BEIKER, S.; CHAUHAN, S.; COLOMBO, T.; HANSSON, F.; INAMPUDI, S.; JAARSMA, R.; KÄSSER, M.: Car data: paving the way to value-creating mobility – Perspectives on a new automotive business model, 2016
- [BC04] BOISOT, M.; CANALS, A.: Data, information and knowledge: have we got it right? *Journal of Evolutionary Economics*, (14)1, 2004, S. 43–67
- [BC09] BLESSING, L. T.; CHAKRABARTI, A.: *DRM, a Design Research Methodology*. Springer London, London, 2009
- [Bea22-ol] BEAN, R.: Why Is It So Hard to Become a Data-Driven Company? Unter: <https://hbr.org/2021/02/why-is-it-so-hard-to-become-a-data-driven-company>
- [Ber16] BERGER, W.: *A more beautiful question – The power of inquiry to spark breakthrough ideas*. Bloomsbury, New York, NY, 2016
- [Ber18] BERTONI, A.: Role and Challenges of Data-Driven Design in the Product Innovation Process: Proceedings of the 16th IFAC Symposium on Information Control Problems in Manufacturing – INCOM 18. 11. bis 13. Juni 2018, Bergamo, Italy, 2018, S. 1107–1112
- [Ber19] BERINATO, S.: Das perfekte Datenteam. *Harvard Business Manager*, (6), 2019, S. 50–61
- [Ber20] BERTONI, A.: Data-Driven Design in Concept Development: Systematic Review and Missed Opportunities: Proceedings of the Design Society: DESIGN Conference. DESIGN Conference, 26.-29. Oktober 2020, Cavtat, Croatia, Cambridge University Press, 2020, S. 101–110
- [Ber93] BERGHÄUSER, K.-H.: Betriebsdatenerfassung. In: Jansen, F. J.; Berghäuser, K.-H.; Grimm, O.; Balgheim, N. (Hrsg.): *Rechnergestützte Betriebsorganisation*. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 1993, S. 89–182
- [BGA+21] BERGS, T.; GIERLINGS, S.; AUERBACH, T.; KLINK, A.; SCHRAKNEPPER, D.; AUGSPURGER, T.: The Concept of Digital Twin and Digital Shadow in Manufacturing. *Procedia CIRP*, (101), 2021, S. 81–84
- [BHJ+22] BALTUTTIS, D.; HÄCKEL, B.; JONAS, C. M.; OBERLÄNDER, A. M.; RÖGLINGER, M.; SEYFRIED, J.: Conceptualizing and Assessing the Value of Internet of Things Solutions. *Journal of Business Research*, (140), 2022, S. 245–263
- [BJA+21] BRIARD, T.; JEAN, C.; AOSSAT, A.; VÉRON, P.; LE CARDINAL, J.; WARTZACK, S.: Data-Driven Design Challenges in the Early Stages of the Product Development Process: Proceedings of the International Conference on Engineering Design (ICED21). 16-20 August 2021, Gothenburg, Sweden, 2021, S. 851–860

- [BJA+23] BRIARD, T.; JEAN, C.; AOUSSAT, A.; VÉRON, P.: Challenges for data-driven design in early physical product design: A scientific and industrial perspective. *Computers in Industry*, (145), 2023, S. 103814
- [BLL+17] BERTONI, A.; LARSSON, T.; LARSSON, J.; ELFSBERG, J.: Mining data to design value: A demonstrator in early design: Proceedings of the 21st International Conference on Engineering Design (ICED17). 21-25 August 2017, Vancouver, Canada, 2017, S. 21–29
- [BM12] BRUHN, M.; MEFFERT, H.: *Handbuch Dienstleistungsmarketing*. Gabler Verlag, Wiesbaden, 2012
- [BMM+19] BEVERUNGEN, D.; MÜLLER, O.; MATZNER, M.; MENDLING, J.; VOM BROCKE, J.: Conceptualizing smart service systems. *Electronic Markets*, (29)1, 2019, S. 7–18
- [Bol19] BOLDOSOVA, V.: Deliberate storytelling in big data analytics adoption. *Information Systems Journal*, (29)6, 2019, S. 1126–1152
- [Bro10] BROY, M.: Cyber-Physical Systems – Wissenschaftliche Herausforderungen bei der Entwicklung. In: Broy, M. (Hrsg.): *Cyber-Physical Systems – Innovation durch softwareintensive eingebettete Systeme*. acatech DISKUTIERT, Springer; Acatech, Berlin, 2010, S. 17–31
- [BSG12] BERG, K. L.; SEYMOUR, T.; GOEL, R.: History Of Databases. *International Journal of Management & Information Systems*, (17)1, 2012, S. 29–36
- [BWW+22] BÖTTCHER, T. P.; WEBER, M.; WEKING, J.; HEIN, A.; KRCDMAR, H.: Value Drivers of Artificial Intelligence: AMCIS 2022 Proceedings, 2022, S. 1–10
- [BYB+20] BERTONI, A.; YI, X.; BARON, C.; ESTEBAN, P.; VINGERHOEDS, R.: A framework for data-driven design in a product innovation process: data analysis and visualisation for model-based decision making. *International Journal of Product Development*, (24)1, 2020, S. 68–94
- [BZC+19] BELHADI, A.; ZKIK, K.; CHERRAFI, A.; YUSOF, S. M.; EL FEZAZI, S.: Understanding Big Data Analytics for Manufacturing Processes: Insights from Literature Review and Multiple Case Studies. *Computers & Industrial Engineering*, (137), 2019, S. 106099
- [CCK+00] CHAPMAN, P.; CLINTON, J.; KERBER, R.; KHABAZA, T.; REINARTZ, T.; SHEARER, C.; WIRTH, R.: *CRISP-DM 1.0 – Step-by-step data mining guide*. SPSS, (9), 2000
- [Ceb12] Data equity: Unlocking the value of big data – Executive Summary. Report for SAS. London, 2012
- [CEK04a] COOPER, R. G.; EDGETT, S. J.; KLEINSCHMIDT, E. J.: Benchmarking Best NPD Practices—III. Research-Technology Management, (47)6, 2004, S. 43–55
- [CEK04b] COOPER, R. G.; EDGETT, S. J.; KLEINSCHMIDT, E. J.: Benchmarking Best NPD Practices—II. Research-Technology Management, (47)3, 2004, S. 50–59
- [Chr03] CHRISTENSEN, C. M.: *The innovator's dilemma – The revolutionary book that will change the way you do business*. HarperBusiness Essentials, New York, NY, 2003
- [CK86] COOPER, R. G.; KLEINSCHMIDT, E. J.: An Investigation into the New Product Process: Steps, Deficiencies, and Impact. *Journal of Product Innovation Management*, (3)2, 1986, S. 71–85

- [CMA+20] CANTAMESSA, M.; MONTAGNA, F.; ALTAVILLA, S.; CASAGRANDE-SERETTI, A.: Data-driven design: the new challenges of digitalization on product design and development. *Design Science*, (6)e27, 2020, S. 1–33
- [Coe11] COENEN, F.: Data mining: past, present and future. *The Knowledge Engineering Review*, (26)1, 2011, S. 25–29
- [Com94] COMERFORD, R.: Mecha...what? *IEEE Spectrum*, (31)8, 1994, S. 46–49
- [Coo19] COOPER, R. G.: The drivers of success in new-product development. *Industrial Marketing Management*, (76), 2019, S. 36–47
- [Coo88] COOPER, R. G.: Predevelopment activities determine new product success. *Industrial Marketing Management*, (17)3, 1988, S. 237–247
- [Coo99] COOPER, R. G.: From Experience: The Invisible Success Factors In Product Innovation. *Journal of Product Innovation Management*, (16)2, 1999, S. 115–133
- [CS15] CHONG, D.; SHI, H.: Big data analytics: a literature review. *Journal of Management Analytics*, (2)3, 2015, S. 175–201
- [CS90] CORBIN, J. M.; STRAUSS, A.: Grounded theory research: Procedures, canons, and evaluative criteria. *Qualitative Sociology*, (13)1, 1990, S. 3–21
- [CSP16] CHANDRA KRUSE, L.; SEIDEL, S.; PURAO, S.: Making Use of Design Principles. *International Conference on Design Science Research in Information System and Technology*, Springer, Cham, 2016, pp. 37–51
- [DAG+21] DUMITRESCU, R.; ANACKER, H.; GROTE, E.-M.; RASOR, R.; TEKAAT, J.; MEYER, M.; GAUSEMEIER, J.; STEGLICH, S.: Erfolgspotentiale für die Zukunft des Engineeringstandorts Deutschland – Ein Beitrag zum Advanced Systems Engineering. In: Gausemeier, J.; Bauer, W.; Dumitrescu, R. (Hrsg.): 16. Symposium für Vorausschau und Technologieplanung. 2. und 3. Dezember 2021, Berlin, Band 400, 2021, S. 11–29
- [DAR+21] Engineering in Deutschland – Status quo in Wirtschaft und Wissenschaft – Ein Beitrag zum Advanced Systems Engineering. Paderborn, 2021
- [Dav13] DAVENPORT, T. H.: Analytics 3.0. *Harvard Business Review*, (91)12, 2013, S. 64–72
- [Die14] DIENST, S.: Analyse von Maschinendaten zur Entscheidungsunterstützung bei der Produktverbesserung durch die Anwendung eines Feedback Assistenz Systems. Dissertation, Naturwissenschaftlich-Technische Fakultät, Universität Siegen, Siegen, 2014
- [DK23] DUMITRESCU, R.; KOLDEWEY, C. (Hrsg.): Datengestützte Produktplanung – Mit Betriebsdaten und Data Analytics zur faktenbasierten Planung zukünftiger Produktgenerationen im produzierenden Gewerbe. Verlagsschriftenreihe des Heinz Nixdorf Instituts Band 408, Paderborn, 2023
- [DKM23] DUMITRESCU, R.; KOLDEWEY, C.; MEYER, M.: Resümee und Ausblick. In: Dumitrescu, R.; Koldewey, C. (Hrsg.): Datengestützte Produktplanung – Mit Betriebsdaten und Data Analytics zur faktenbasierten Planung zukünftiger Produktgenerationen im produzierenden Gewerbe. Verlagsschriftenreihe des Heinz Nixdorf Instituts, Band 408, Paderborn, 2023, S. 139–140

- [DOS+17] DREMEL, C.; OVERHAGE, S.; SCHLAUDERER, S.; WULF, J.: Towards a Capability Model for Big Data Analytics. In: Leimeister, J. M.; Brenner, W. (Hrsg.): Proceedings der 13. Internationalen Tagung Wirtschaftsinformatik (WI 2017). St. Gallen, 2017, S. 1141–1155
- [DR04] DINKELBACH, W.; ROSENBERG, O.: Erfolgs- und umweltorientierte Produktionstheorie. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 2004
- [DT22] DENG, Q.; THOBEN, K.-D.: A Systematic Procedure for Utilization of Product Usage Information in Product Development. *Information*, (13)267, 2022, S. 1–28
- [Dum11] DUMITRESCU, R.: Entwicklungssystematik zur Integration kognitiver Funktionen in fortgeschrittene mechatronische Systeme. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 286, Paderborn, 2011
- [Dum18] DUMITRESCU, R.: DizRuPt – Datengestützte Retrofit- und Generationenplanung im Maschinen- und Anlagenbau – Unveröffentlichter Rahmenplan zum Forschungsprojekt. Paderborn, 2018
- [DWH+21] DENG, Q.; WELLSANDT, S.; HRIBERNIK, K.; THOBEN, K.-D.: Understanding Users and Products in Product Development: The Application of Product Usage Information and its Challenges: Proceedings of the International Conference on Engineering Design (ICED21). 16-20 August 2021, Gothenburg, Sweden, 2021, S. 3299–3308
- [DWX+20] DAL, H.-N.; WANG, H.; XU, G.; WAN, J.; IMRAN, M.: Big data analytics for manufacturing internet of things: opportunities, challenges and enabling technologies. *Enterprise Information Systems*, (14)9-10, 2020, S. 1279–1303
- [EA21] Enterprise Big Data Professional – An Introduction to Big Data and Data Science for the Enterprise. Version 1.6, 2021
- [Ebe15] EBEL, B.: Modellierung von Zielsystemen in der interdisziplinären Produktentstehung. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Karlsruher Institut für Technologie (KIT), IPEK Institut für Produktentwicklung, Forschungsberichte, Band 85, Karlsruhe, 2015
- [EBU14] EBNER, K.; BUHNEN, T.; URBACH, N.: Think Big with Big Data: Identifying Suitable Big Data Strategies in Corporate Environments: 2014 47th Hawaii International Conference on System Sciences. IEEE, 2014
- [Ech20] ECHTERFELD, J.: Systematik zur Digitalisierung von Produktprogrammen. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 393, Paderborn, 2020
- [Edl01] EDLER, A.: Nutzung von Felddaten in der qualitätsgetriebenen Produktentwicklung und im Service. Dissertation, Fakultät V – Verkehrs- und Maschinensysteme, Technische Universität Berlin, Berlin, 2001
- [EDS+19] EIGNER, M.; DETZNER, A.; SCHMIDT, P. H.; THARMA, R.: Definition des Digital Twin im Produktlebenszyklus. *Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb*, (114)6, 2019, S. 345–350
- [EE14] ELGENDY, N.; ELRAGAL, A.: Big Data Analytics: A Literature Review Paper. In: Perner, P. (Ed.): *Advances in Data Mining – Proceedings of the 14th industrial Conference on*

- Data Mining,. 16 - 20 July 2014, St. Petersburg, Russia, Lecture notes in computer science Lecture notes in artificial intelligence, Volume 8557, Springer, Cham, 2014, pp. 214–227
- [EFS16] EREVELLES, S.; FUKAWA, N.; SWAYNE, L.: Big Data consumer analytics and the transformation of marketing. *Journal of Business Research*, (69)2, 2016, S. 897–904
- [EGV+18] EHRLINGER, L.; GRUBINGER, T.; VARGA, B.; PICHLER, M.; NATSCHLAGER, T.; ZEINDL, J.: Treating Missing Data in Industrial Data Analytics: Thirteenth International Conference on Digital Information Management (ICDIM 2018). IEEE, 2018, S. 148–155
- [EHP+17] ERWIN, T.; HEIDKAMP, P.; POLS, A.; GRIMM, F.: Mit Daten Werte schaffen – Report 2017, 2017
- [EHP15] ERWIN, T.; HEIDKAMP, P.; POLS, A.: Mit Daten Werte schaffen – Report 2015, 2015
- [EI38] EINSTEIN, A.; INFELD, L.: *The Evolution of Physics*. Cambridge University Press, Cambridge, 1938
- [EM13] EHRENSPIEL, K.; MEERKAMM, H.: *Integrierte Produktentwicklung – Denkabläufe, Methodeneinsatz, Zusammenarbeit*. 5. Auflage, Hanser, München, 2013
- [EOG20] ER KARA, M.; OKTAY FIRAT, S. Ü.; GHADGE, A.: A data mining-based framework for supply chain risk management. *Computers & Industrial Engineering*, (139), 2020, S. 105570
- [ES09] EIGNER, M.; STELZER, R.: *Product Lifecycle Management – Ein Leitfaden für Product Development und Life Cycle Management*. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 2009
- [ESH15] EDLER, F.; SODEN, M.; HANKAMMER, R.: *Fehlerbaumanalyse in Theorie und Praxis*. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 2015
- [Eur20] Eine europäische Datenstrategie – Mitteliung der Kommission an das europäische Parlament, den Rat, den europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen. Brüssel, 2020
- [Eve10] EVELEENS, C.: *Innovation management; a literature review of innovation process models and their implications*. Nijmegen, NL, 2010
- [FAH+11] FATHI, M.; ABRAMOVICI, M.; HOLLAND, A.; LINDNER, A.; DIENST, S.: Nutzungs-Szenarien eines wissensbasierten Assistenzsystems zur Entscheidungsunterstützung in der Produktverbesserung. In: Maier, R. (Hrsg.): *Proceedings of the 6th Conference on Professional Knowledge Management – From Knowledge to Action*. Bonn, 2011, S. 295–304
- [Fah22] FAHL, J.: *Produktportfolio-übergreifendes Spezifizieren von Produktfunktionen der Sportwagenentwicklung im Modell der PGE Produktgenerationsentwicklung*. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Karlsruher Institut für Technologie (KIT), IPEK Institut für Produktentwicklung, Forschungsberichte, Band 147, Karlsruhe, 2022
- [FG13] FELDHUSEN, J.; GROTE, K.-H.: *Pahl/Beitz Konstruktionslehre – Methoden und Anwendung erfolgreicher Produktentwicklung*. 8. Auflage, Springer Vieweg, Berlin Heidelberg, 2013

- [FGH+20] FRANK, M.; GAUSEMEIER, J.; HENNIG-CARDINAL VON WIDDERN, N.; KOLDEWEY, C.; MENZEFRICKE, S.; REINHOLD, J.: A reference process for the Smart Service business: development and practical implications. In: International Society for Professional Innovation Management (Hrsg.): Proceedings of the ISPIM connects, 2020, S. 1–19
- [FHA21] FAHL, J.; HIRSCHTER, T.; ALBERS, A.: Produktportfolio-übergreifendes Spezifizieren von Produktfunktionen am Beispiel der Sportwagenentwicklung. In: Binz, H.; Bertsche, B.; Spath, D.; Roth, D. (Hrsg.): Stuttgarter Symposium für Produktentwicklung (SSP) 2021. 20. Mai 2021, Stuttgart, Fraunhofer-Verlag, 2021, S. 1–12
- [FPS96a] FAYYAD, U.; PIATETSKY-SHAPIO, G.; SMYTH, P.: From Data Mining to Knowledge Discovery in Databases. *AI Magazine*, (17)3, 1996, S. 37–54
- [FPS96b] FAYYAD, U.; PIATETSKY-SHAPIO, G.; SMYTH, P.: The KDD process for extracting useful knowledge from volumes of data. *Communications of the ACM*, (39)11, 1996, S. 27–34
- [Fri09] FRICKÉ, M.: The knowledge pyramid: a critique of the DIKW hierarchy. *Journal of Information Science*, (35)2, 2009, S. 131–142
- [FZZ+20] FENG, Y.; ZHAO, Y.; ZHENG, H.; LI, Z.; TAN, J.: Data-driven product design toward intelligent manufacturing: A review. *International Journal of Advanced Robotic Systems*, (17)2, 2020, 172988142091125
- [GAC+13] GAUSEMEIER, J.; ANACKER, H.; CZAJA, A.; WARMANN, H.; DUMITRESCU, R.: Auf dem Weg zu intelligenten technischen Systemen. In: Gausemeier, J.; Dumitrescu, R.; Ramming, F. J.; Schäfer, W.; Trächtler, A. (Hrsg.): Entwurf mechatronischer Systeme – 9. Paderborner Workshop. HNI-Verlagsschriftenreihe, Paderborn, 2013, S. 11–47
- [GAC21] GUERRERO-PRADO, J. S.; ALFONSO-MORALES, W.; CAICEDO-BRAVO, E. F.: A Data Analytics/Big Data Framework for Advanced Metering Infrastructure Data. *Sensors*, (21)16, 2021
- [GBT+20] GORKOVENKO, K.; BURNETT, D. J.; THORP, J. K.; RICHARDS, D.; MURRAY-RUST, D.: Exploring The Future of Data-Driven Product Design: Proceedings of the 2020 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems. New York, NY, USA, ACM, New York, NY, USA, 2020, S. 1–14
- [GC20] GAGNON, E.; CAYA, O.: Bridging the Gap between Insights and Action: the Role of Analytical Storytelling. *AMCIS 2020 Proceedings*, 11, 2020
- [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. Hanser, München, 2019
- [GEA16] GAUSEMEIER, J.; ECHTERFELD, J.; AMSHOFF, B.: Strategische Produkt- und Prozessplanung. In: Lindemann, U. (Hrsg.): Handbuch Produktentwicklung. Hanser eLibrary, Hanser, München, 2016, S. 9–35
- [GK12] GAUSEMEIER, J.; KOKOSCHKA, M.: Der Produktlebenszyklus. In: Gausemeier, J.; Glatz, R.; Lindemann, U. (Hrsg.): Präventiver Produktschutz – Leitfaden und Anwendungsbeispiele. Hanser, München, 2012, S. 41–43

- [GKS20] GREGOR, S.; KRUSE, L.; SEIDEL, S.: Research Perspectives: The Anatomy of a Design Principle. *Journal of the Association for Information Systems*, (21), 2020, S. 1622–1652
- [GL17] GIRARDIN, F.; LATHIA, N.: When User Experience Designers Partner with Data Scientists. *2017 AAAI Spring Symposium Series*, 2017, S. 376–381
- [Gla99] GLASER, B. G.: The Future of Grounded Theory. *Qualitative Health Research*, (9)6, 1999, S. 836–845
- [GLR+00] GAUSEMEIER, J.; LINDEMANN, U.; REINHART, G.; WIENDAHL, H.-P.: *Kooperatives Produktengineering – Ein neues Selbstverständnis des ingenieurmäßigen Wirkens*. HNI-Verlagsschriftenreihe Bd. 79, Heinz Nixdorf Institut, Paderborn, 2000
- [GP14] GAUSEMEIER, J.; PLASS, C.: *Zukunftsorientierte Unternehmensgestaltung – Strategien, Geschäftsprozesse und IT-Systeme für die Produktion von morgen*. 2. Auflage, Hanser, München, 2014
- [Gri97] GRIFFIN, A.: PDMA research on new product development practices: Updating trends and benchmarking best practices. *Journal of Product Innovation Management*, (14)6, 1997, S. 429–458
- [GRS+16] GAUBINGER, K.; RABL, M.; SWAN, S.; WERANI, T.: *Innovation and Product Management – A Holistic and Practical Approach to Uncertainty Reduction*. Springer Berlin; Springer, Berlin, 2016
- [Gru06] GRUNDY, T.: Rethinking and reinventing Michael Porter's five forces model. *Strategic Change*, (15)5, 2006, S. 213–229
- [GS14] GASSMANN, O.; SCHWEITZER, F.: Managing the Unmanageable: The Fuzzy Front End of Innovation. In: Gassmann, O.; Schweitzer, F. (Hrsg.): *Management of the Fuzzy Front End of Innovation*. Springer International Publishing, Cham, 2014, S. 3–14
- [GS80] GLASER, B. G.; STRAUSS, A. L.: *The discovery of grounded theory – Strategies for qualitative research*. 11th Edition, Aldine, New York, 1980
- [GSM+19] GEISSBAUER, R.; SCHRAUF, S.; MORR, J.-T.; WUNDERLIN, J.; KRAUSE, J. H.; ODENKIRCHEN, A.: *Digital Product Development 2025*, 2019
- [GSS22] GOPALAKRISHNAN, M.; SUBRAMANIYAN, M.; SKOOGH, A.: Data-driven machine criticality assessment – maintenance decision support for increased productivity. *Production Planning & Control*, (33)1, 2022, S. 1–19
- [GSS68] GLASER, B. G.; STRAUSS, A. L.; STRUTZEL, E.: The Discovery of Grounded Theory; Strategies for Qualitative Research. *Nursing Research*, (17)4, 1968, S. 364
- [GWS+17] GROGGERT, S.; WENKING, M.; SCHMITT, R. H.; FRIEDLI, T.: Status quo and future potential of manufacturing data analytics — An empirical study: 2017 IEEE International Conference on Industrial Engineering & Engineering Management (IEEM). 10-13 December 2017, Singapore, 2017, pp. 779–783
- [Har20] *Turning Data into Unmatched Business Value*. Pulse Survey, 2020
- [HB13] HOLMSTRÖM OLSSON, H.; BOSCH, J.: Towards Data-Driven Product Development: A Multiple Case Study on Post-deployment Data Usage in Software-Intensive Embedded Systems. In: Fitzgerald, B.; Conboy, K.; Power, K.; Valerdi, R.; Morgan, L.; Stol, K.-J.

- (Hrsg.): Lean Enterprise Software and Systems – LESS 2013. Lecture Notes in Business Information Processing. Band 167, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 2013, S. 152–164
- [Hei10] HEISMANN, R.: Die Erweiterung des Innovationsprozesses bei Porsche. In: Ili, S. (Hrsg.): Open Innovation umsetzen – Prozesse, Methoden, Systeme, Kultur. Symposium-Publishing, Düsseldorf, 2010, S. 115–146
- [Hil07] HILL, N.: The Prosperity Bible – The Greatest Writings of All Time on the Secrets to Wealth and Prosperity. Penguin Publishing Group, East Rutherford, 2007
- [HJ20] HOU, L.; JIAO, R. J.: Data-informed inverse design by product usage information: a review, framework and outlook. *Journal of Intelligent Manufacturing*, (31)3, 2020, S. 529–552
- [HJP+20] HOFMANN, P.; JÖHNK, J.; PROTSCHKY, D.; URBACH, N.: Developing Purposeful AI Use Cases – A Structured Method and Its Application in Project Management: 15th International Conference on Wirtschaftsinformatik (WI). Potsdam, Germany, 2020, S. 33–49
- [HKH+21] HÄUSLER, E.; KREMSER, W.; HORNING-PRÄHAUSER, V.; JENSEN, U.; HUBER, F.: Incorporating Data Science into IoT New Product Development: A Review: Proceedings of the ISPIIM Innovation Conference – Innovating Our Common Future. 20.-23. Juni 2021, Berlin, 2021, S. 1–17
- [HLM18-ol] HENKE, N.; LEVINE, J.; MCINERNEY, P.: You Don't Have to Be a Data Scientist to Fill This Must-Have Analytics Role. Unter: <https://hbr.org/2018/02/you-dont-have-to-be-a-data-scientist-to-fill-this-must-have-analytics-role>, 28. Dezember 2020
- [HMM+19-ol] HERRING, L.; MAYHEW, H.; MIDHA, A.; PURI, A.: How to Train Someone to Translate Business Problems into Analytics Questions. Unter: <https://hbr.org/2019/02/how-to-train-someone-to-translate-business-problems-into-analytics-questions>, 28. Dezember 2020
- [HMP04] HEVNER, A.; MARCH, S. T.; PARK, J.: Design Science in Information Systems Research. *MIS Quarterly*, (28)1, 2004, S. 75–105
- [HNM+21] HUSSAIN, T.; NUGENT, C.; MOORE, A.; LIU, J.; BEARD, A.: A Risk-Based IoT Decision-Making Framework Based on Literature Review with Human Activity Recognition Case Studies. *Sensors*, (21)13, 2021
- [HNU+17] HOLLER, M.; NEIDITSCH, G.; UEBERNICKEL, F.; BRENNER, W.: Digital Product Innovation in Manufacturing Industries – Towards a Taxonomy for Feedback-driven Product Development Scenarios: Proceedings of the 50th Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS). 4-7 January 2017, Hawaii, USA, 2017, S. 4726–4735
- [Hom17] HOMBURG, C.: Marketingmanagement. Springer Fachmedien Wiesbaden, Wiesbaden, 2017
- [HSU+16] HOLLER, M.; STOECKLI, E.; UEBERNICKEL, F.; BRENNER, W.: Towards Understanding closed-loop PLM: The Role of Product Usage Data for Product Development enabled by intelligent Properties. *BLED 2016 Proceedings*, 13, 2016, S. 479–491

- [HTF96] HARASHIMA, F.; TOMIZUKA, M.; FUKUDA, T.: Mechatronics - "What Is It, Why, and How?" An editorial. IEEE/ASME Transactions on Mechatronics, (1)1, 1996, S. 1–4
- [HUB16] HOLLER, M.; UEBERNICKEL, F.; BRENNER, W.: Understanding the Business Value of Intelligent Products for Product Development in Manufacturing Industries: Proceedings of the 8th International Conference on Information Management and Engineering. Istanbul, Turkey, 2016, S. 18–24
- [HV04] HERSTATT, C.; VERWORN, B.: The ‘Fuzzy Front End’ of Innovation: Bringing Technology and Innovation into the Boardroom. Palgrave Macmillan, London, 2004, pp. 347–372
- [IAG+15] IGBA, J.; ALEMZADEH, K.; GIBBONS, P. M.; HENNINGSEN, K.: A framework for optimising product performance through feedback and reuse of in-service experience. Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, (36), 2015, S. 2–12
- [IBH+15] ISAKSSON, O.; BERTONI, M.; HALLSTEDT, S.; LAVESSON, N.: Model Based Decision Support for Value and Sustainability in Product Development: Proceedings of the 20th International Conference on Engineering Design (ICED15). 20th International Conference on Engineering Design (ICED), 27-30 July 2015, Milan, Italy, The Design Society, 2015
- [IE20] ISAKSSON, O.; ECKERT, C.: Product Development 2040 – Technologies are just as good as the designer’s ability to integrate them. Design Society Report DS107. The Design Society, 2020
- [Isa11] ISAACSON, W.: Steve Jobs. Little Brown, London, 2011
- [Ise08] ISERMANN, R.: Mechatronische Systeme – Grundlagen. 2. Auflage, Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 2008
- [JSK+07] JUN, H.-B.; SHIN, J.-H.; KIRITSIS, D.; XIROUCHAKIS, P.: System architecture for closed-loop PLM. International Journal of Computer Integrated Manufacturing, (20)7, 2007, S. 684–698
- [JvW17] JANSSEN, M.; VAN DER VOORT, H.; WAHYUDI, A.: Factors influencing big data decision-making quality. Journal of Business Research, (70), 2017, S. 338–345
- [KAB+01] KOEN, P.; AJAMIAN, G.; BURKART, R.; CLAMEN, A.; DAVIDSON, J.; D’AMORE, R.; ELKINS, C.; HERALD, K.; INCORVIA, M.; JOHNSON, A.; KAROL, R.; SEIBERT, R.; SLAVEJKOV, A.; WAGNER, K.: Providing Clarity and A Common Language to the “Fuzzy Front End”. Research-Technology Management, (44)2, 2001, S. 46–55
- [Kau21] KAUFMANN, T.: PESTEL-Analyse: Strategiewerkzeuge aus der Praxis. Springer Gabler, Berlin, Heidelberg, 2021, S. 19–28
- [KBN+12] KAHN, K. B.; BARCZAK, G.; NICHOLAS, J.; LEDWITH, A.; PERKS, H.: An Examination of New Product Development Best Practice. Journal of Product Innovation Management, (29)2, 2012, S. 180–192
- [KDM23] KOLDEWEY, C.; DUMITRESCU, R.; MEYER, M.: Einführung. In: Dumitrescu, R.; Koldevey, C. (Hrsg.): Datengestützte Produktplanung – Mit Betriebsdaten und Data Analytics zur faktenbasierten Planung zukünftiger Produktgenerationen im produzierenden

- Gewerbe. Verlagsschriftenreihe des Heinz Nixdorf Instituts, Band 408, Paderborn, 2023, S. 1–10
- [Ker96] KERNLER, H.: PPS-Controlling. Gabler, Wiesbaden, 1996
- [Kir11] KIRITSIS, D.: Closed-loop PLM for intelligent products in the era of the Internet of things. *Computer-Aided Design*, (43)5, 2011, S. 479–501
- [KJ21] KUMAR, A.; JAISWAL, A.: A Deep Swarm-Optimized Model for Leveraging Industrial Data Analytics in Cognitive Manufacturing. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, (17)4, 2021, S. 2938–2946
- [KJR+18] KÜHN, A.; JOPPE, R.; REINHART, F.; RÖLTGEN, D.; ENZBERG, S. VON; DUMITRESCU, R.: Analytics Canvas – A Framework for the Design and Specification of Data Analytics Projects. *Procedia CIRP*, (70), 2018, S. 162–167
- [KM16] KITCHIN, R.; MCARDLE, G.: What makes Big Data, Big Data? Exploring the ontological characteristics of 26 datasets. *Big Data & Society*, (3)1, 2016, S. 1–10
- [KMO+22] KUNDISCH, D.; MUNTERMANN, J.; OBERLÄNDER, A. M.; RAU, D.; RÖGLINGER, M.; SCHOORMANN, T.; SZOPINSKI, D.: An Update for Taxonomy Designers. *Business & Information Systems Engineering*, (64)4, 2022, S. 421–439
- [KMS+20] KOLDEWEY, C.; MEYER, M.; STOCKBRÜGGER, P.; DUMITRESCU, R.; GAUSEMEIER, J.: Framework and Functionality Patterns for Smart Service Innovation. *Procedia CIRP*, (91), 2020, S. 851–857
- [Kol21] KOLDEWEY, C.: Systematik zur Entwicklung von Smart Service-Strategien im produzierenden Gewerbe. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 399, Paderborn, 2021
- [Kre19] KREUTZER, R.: Methodik zur Bestimmung der Nutzenpotenziale von Felddaten cyber-physischer Systeme. *Ergebnisse aus der Produktionstechnik*, Apprimus Wissenschaftsverlag, Aachen, 2019
- [KST+84] KANO, N.; SERAKU, N.; TAKAHASHI, F.; TSUJI, S.: Attractive Quality and Must-Be Quality: *Journal of the Japanese Society for Quality Control*. 14. Auflage, 1984, S. 39–48
- [Küh17] KÜHN, A.: Systematik zur Release-Planung intelligenter technischer Systeme. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 370, Paderborn, 2017
- [Küh19] KÜHNAPFEL, J. B.: Nutzwertanalysen in Marketing und Vertrieb. 2. Auflage, essentials, Springer Fachmedien Wiesbaden, Wiesbaden, 2019
- [KvH+17] KLEIN, P.; VAN DER VEGTE, W. F.; HRIBERNIK, K.; KLAUS-DIETER, T.: Towards an Approach Integrating Various Levels of Data Analytics to Exploit Product-Usage Information in Product Development: *Proceedings of the 21st International Conference on Engineering Design (ICED17)*. 21-25 August 2017, Vancouver, Canada, 2017, S. 2627–2636
- [KW02] KIM, J.; WILEMON, D.: Focusing the fuzzy front-end in new product development. *R&D Management*, (32)4, 2002, S. 269–279

- [KZ20] KRÓL, K.; ZDONEK, D.: Analytics Maturity Models: An Overview. *Information*, (11)3, 2020, S. 1–19
- [Lak74] LAKEIN, A.: How to get control of your time and your life. A Signet book, New American Library, New York, 1974
- [Lee08] LEE, E. A.: Cyber Physical Systems: Design Challenges: 2008 11th IEEE International Symposium on Object and Component-Oriented Real-Time Distributed Computing (ISORC). 2008 11th IEEE International Symposium on Object and Component-Oriented Real-Time Distributed Computing, 5-7 May 2008, Orlando, Florida, USA, IEEE, 2008, S. 363–369
- [Lee17] IN LEE: Big data: Dimensions, evolution, impacts, and challenges. *Business Horizons*, (60)3, 2017, S. 293–303
- [LGG+21] LU, J.; GOMEZ ORTEGA, A.; GONÇALVES, M.; BOURGEOIS, J.: The Impact of Data on the Role of Designers and Their Process: Proceedings of the International Conference on Engineering Design (ICED21). 16-20 August 2021, Gothenburg, Sweden, 2021, S. 3021–3030
- [LHZ21] LIM, S.; HENRIKSSON, A.; ZDRAVKOVIC, J.: Data-Driven Requirements Elicitation: A Systematic Literature Review. *SN Computer Science*, (2)1, 2021, S. 1–35
- [Lis05] LIST, D.: Market research methods for innovation development: an overview, 2005
- [LK14] LIN, C.-Y.; KREMER, G. E. O.: Strategic decision making for multiple-generation product lines using dynamic state variable models: The cannibalization case. *Computers in Industry*, (65)1, 2014, S. 79–90
- [LLS+11] LAVALLE, S.; LESSER, E.; SHOCKLEY, R.; HOPKINS, M. S.; KRUSCHWITZ, N.: Big Data, Analytics and the Path From Insights to Value. *MIT Sloan Management Review*, (52)2, 2011, S. 21–31
- [LLW16] LUFT, T.; LE CARDINAL, J.; WARTZACK, S.: Methoden der Entscheidungsfindung. In: Lindemann, U. (Hrsg.): *Handbuch Produktentwicklung*. Hanser eLibrary, Hanser, München, 2016, S. 759–803
- [Lov83] LOVELL, M. C.: Data Mining. *The Review of Economics and Statistics*, (65)1, 1983, S. 1–12
- [LPW+16] LUETH, K. L.; PATSIOURA, C.; WILLIAMS, D. Z.; KERMANI, Z. Z.: Industrial Analytics 2016/2017 – The current state of data analytics usage in industrial companies, 2016
- [LRS19] LI, Y.; ROY, U.; SALTZ, J. S.: Towards an integrated process model for new product development with data-driven features (NPD3). *Research in Engineering Design*, (30)2, 2019, S. 271–289
- [LSV+21] LAÑA, I.; SANCHEZ-MEDINA, J. J.; VLAHOIANNI, E. I.; DEL SER, J.: From Data to Actions in Intelligent Transportation Systems: A Prescription of Functional Requirements for Model Actionability. *Sensors*, (21)4, 2021, S. 1121
- [LTC+15] LI, J.; TAO, F.; CHENG, Y.; ZHAO, L.: Big Data in product lifecycle management. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, (81), 2015, S. 667–684
- [Lue09] LUEGER, M.: *Grounded Theory: Qualitative Marktforschung*. Gabler, 2009, S. 189–205

- [Lyc13] LYCETT, M.: 'Datafication': making sense of (big) data in a complex world. *European Journal of Information Systems*, (22)4, 2013, S. 381–386
- [Mar18-ol] MARR, B.: Forget Data Scientists And Hire a Data Translator Instead? Unter: <https://www.forbes.com/sites/bernardmarr/2018/03/12/forget-data-scientists-and-hire-a-data-translator-instead/>, 28. Dezember 2020
- [Mar21] MARTHALER, F.: Zukunftsorientierte Produktentwicklung – Eine Systematik zur Ableitung von generationsübergreifenden Zielsystemen zukünftiger Produktgenerationen durch strategische Vorausschau. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Karlsruher Institut für Technologie (KIT), IPEK Institut für Produktentwicklung, Forschungsberichte, Band 137, Karlsruhe, 2021
- [Mas43] MASLOW, A. H.: A theory of human motivation. *Psychological Review*, (50)4, 1943, S. 370–396
- [MB12] MCAFEE, A.; BRYNJOLFSSON, E.: Big Data: The Management Revolution. *Harvard Business Review*, (90)10, 2012, S. 60–68
- [MBP21] MEHLSTÄUBL, J.; BRAUN, F.; PAETZOLD, K.: Data Mining in Product Portfolio and Variety Management – Literature Review on Use Cases and Research Potentials: 2021 IEEE Technology & Engineering Management Conference - Europe (TEMSCON-EUR). IEEE, 2021, S. 1–6
- [McA03] MCADAMS, D. A.: Identification and codification of principles for functional tolerance design. *Journal of Engineering Design*, (14)3, 2003, S. 355–375
- [Meb08] MEBOLDT, M.: Mentale und formale Modellbildung in der Produktentstehung – als Beitrag zum integrierten Produktentstehungs-Modell (iPeM). Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Karlsruher Institut für Technologie (KIT), IPEK Institut für Produktentwicklung, Forschungsberichte, Band 29, Karlsruhe, 2008
- [MFK+22a] MEYER, M.; FICHTLER, T.; KOLDEWEY, C.; DUMITRESCU, R.: Potentials and challenges of analyzing use phase data in product planning of manufacturing companies. *Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing*, (36)e14, 2022, S. 1–13
- [MFK+22b] MEYER, M.; FICHTLER, T.; KOLDEWEY, C.; DUMITRESCU, R.: How can Data Analytics Results be Exploited in the Early Phase of Product Development? 13 Design Principles for Data-Driven Product Planning: AMCIS 2022 Proceedings, 2022, S. 1–10
- [MFM+20a] MEYER, M.; FRANK, M.; MASSMANN, M.; WENDT, N.; DUMITRESCU, R.: Data-Driven Product Generation and Retrofit Planning. *Procedia CIRP*, (93), 2020, S. 965–970
- [MFM+20b] MEYER, M.; FRANK, M.; MASSMANN, M.; DUMITRESCU, R.: Research and Consulting in Data-Driven Strategic Product Planning. *Proceedings of The 11th International Multi-Conference on Complexity, Informatics and Cybernetics (IMCIC 2020)*, 2020, S. 162–167
- [MFM+20c] MEYER, M.; FRANK, M.; MASSMANN, M.; DUMITRESCU, R.: Research and Consulting in Data-Driven Strategic Product Planning. *Journal of Systemics, Cybernetics and Informatics*, (18)2, 2020, S. 55–61

- [MGO20] MÖLLER, F.; GUGGENBERGER, T. M.; OTTO, B.: Towards a Method for Design Principle Development in Information Systems. In: Hofmann, S.; Müller, O.; Rossi, M. (Hrsg.): Designing for Digital Transformation. Co-Creating Services with Citizens and Industry. Lecture Notes in Computer Science, Springer International Publishing, Cham, 2020, S. 208–220
- [MHK+21] MEYER, M.; HEMKENTOKRAX, J.-P.; KOLDEWEY, C.; DUMITRESCU, R.; TRÖSTER, P. M.; SCHLEGEL, M.; KLING, C. L.; RAPP, S.; ALBERS, A.: Zukunftsrobuste Weiterentwicklung von Produktportfolios: Erkenntnisse und Handlungsbedarfe aus der Praxis. In: Gausemeier, J.; Bauer, W.; Dumitrescu, R. (Hrsg.): 16. Symposium für Vorausschau und Technologieplanung. 2. und 3. Dezember 2021, Berlin, Band 400, 2021, S. 449–470
- [MHS+24] MEYER, M.; HEMKENTOKRAX, J.-P.; SCHLEGEL, M.; KOLDEWEY, C.; TRÖSTER, P. M.; RAPP, S.; ALBERS, A.; DUMITRESCU, R.: How Do Product Portfolios Evolve Holistically? Insights From Large Manufacturing Companies. IEEE TEMS, 2024, eingereicht, under review
- [Min21] MINTO, B.: The pyramid principle – Logic in writing and thinking. 3. Auflage, Pearson Education, Harlow, 2021
- [MKD24] MEYER, M.; KOLDEWEY, C.; DUMITRESCU, R.: Weaving Strategic Threads Across Product Generations: A Theory And A Reference Model. Design Science, 2024, eingereicht, under review
- [MMD+19] MASSMANN, M.; MEYER, M.; DUMITRESCU, R.; ENZBERG, S. VON; FRANK, M.; KOLDEWEY, C.; KÜHN, A.; REINHOLD, J.: Significance and Challenges of Data-driven Product Generation and Retrofit Planning. Procedia CIRP, (84), 2019, S. 992–997
- [MMF10] MARISCAL, G.; MARBÁN, Ó.; FERNÁNDEZ, C.: A survey of data mining and knowledge discovery process models and methodologies. The Knowledge Engineering Review, (25)2, 2010, S. 137–166
- [MNG+21] MEHLSTÄUBL, J.; NICKLAS, S.; GESCHÜTZ, B.; SPROGIES, N.; SCHLEICH, B.; LOHNER, T.; WARTZACK, S.; STAHL, K.; PAETZOLD, K.: Voraussetzungen für den Einsatz datengetriebener Methoden in der Produktentwicklung: DS 111: Proceedings of the 32nd Symposium Design for X. 27. und 28. September 2021, The Design Society, 27. und 2021, S. 1–10
- [MNS12] MAGLYAS, A.; NIKULA, U.; SMOLANDER, K.: What do practitioners mean when they talk about product management? In: Heimdahl, M. (Ed.): 2012 20th IEEE International Requirements Engineering Conference (RE 2012) – Chicago, Illinois, USA, 24 - 28 September 2012. 2012 IEEE 20th International Requirements Engineering Conference (RE), 9/24/2012 - 9/28/2012, Chicago, IL, USA, IEEE, Piscataway, NJ, 2012, pp. 261–266
- [MPK+21] MEYER, M.; PANZNER, M.; KOLDEWEY, C.; DUMITRESCU, R.: Towards Identifying Data Analytics Use Cases in Product Planning. Procedia CIRP, (104), 2021, S. 1179–1184

- [MPK+22] MEYER, M.; PANZNER, M.; KOLDEWEY, C.; DUMITRESCU, R.: 17 Use Cases for Analyzing Use Phase Data in Product Planning of Manufacturing Companies. *Procedia CIRP*, (107), 2022, S. 1053–1058
- [MPW+23a] MEYER, M.; PANZNER, M.; WIEDERKEHR, I.; FICHTLER, T.: Tipps für den Transfer in die Praxis. In: Dumitrescu, R.; Koldewey, C. (Hrsg.): *Datengestützte Produktplanung – Mit Betriebsdaten und Data Analytics zur faktenbasierten Planung zukünftiger Produktgenerationen im produzierenden Gewerbe*. Verlagsschriftenreihe des Heinz Nixdorf Instituts, Band 408, Paderborn, 2023, S. 137–138
- [MPW+23b] MEYER, M.; PANZNER, M.; WIEDERKEHR, I.; FICHTLER, T.: Produktplanung auf Basis von Betriebsdaten. In: Dumitrescu, R.; Koldewey, C. (Hrsg.): *Datengestützte Produktplanung – Mit Betriebsdaten und Data Analytics zur faktenbasierten Planung zukünftiger Produktgenerationen im produzierenden Gewerbe*. Verlagsschriftenreihe des Heinz Nixdorf Instituts, Band 408, Paderborn, 2023, S. 11–27
- [MPW+23c] MEYER, M.; PANZNER, M.; WIEDERKEHR, I.; FICHTLER, T.; PANICK, D.: Referenzprozess für die Betriebsdaten-gestützte Produktplanung. In: Dumitrescu, R.; Koldewey, C. (Hrsg.): *Datengestützte Produktplanung – Mit Betriebsdaten und Data Analytics zur faktenbasierten Planung zukünftiger Produktgenerationen im produzierenden Gewerbe*. Verlagsschriftenreihe des Heinz Nixdorf Instituts, Band 408, Paderborn, 2023, S. 29–77
- [MS14] MACHAC, J.; STEINER, F.: Risk Management in Early Product Lifecycle Phases. *International Review of Management and Business Research*, (3)2, 2014, S. 1151–1162
- [MTB+22] MACHCHHAR, R. J.; TOLLER, C. N. K.; BERTONI, A.; BERTONI, M.: Data-driven value creation in Smart Product-Service System design: State-of-the-art and research directions. *Computers in Industry*, (137), 2022, S. 1–21
- [MTS05] MENON, R.; TONG, L. H.; SATHIYAKEERTHI, S.: Analyzing Textual Databases using Data Mining to Enable Fast Product Development Processes. *Reliability Engineering & System Safety*, (88)2, 2005, S. 171–180
- [MUK05] MEIER, H.; UHLMANN, E.; KORTMANN, D.: Hybride Leistungsbündel – Nutzenorientiertes Produktverständnis durch interferierende Sach- und Dienstleistungen. *wt Werkstattstechnik online*, (95)7-8, 2005, S. 528–532
- [MWK+21] MEYER, M.; WIEDERKEHR, I.; KOLDEWEY, C.; DUMITRESCU, R.: Understanding Usage Data-Driven Product Planning: A Systematic Literature Review: Proceedings of the International Conference on Engineering Design (ICED21). 16-20 August 2021, Gothenburg, Sweden, 2021, S. 3289–3298
- [MWM+19] MAO, Y.; WANG, D.; MULLER, M.; VARSHNEY, K. R.; BALDINI, I.; DUGAN, C.; MOJSILOVIĆ, A.: How Data Scientists Work Together With Domain Experts in Scientific Collaborations. *Proceedings of the ACM on Human-Computer Interaction*, (3)GROUP, 2019, S. 1–23
- [MWP+22] MEYER, M.; WIEDERKEHR, I.; PANZNER, M.; KOLDEWEY, C.; DUMITRESCU, R.: A Reference Process Model for Usage Data-Driven Product Planning: Proceedings of the 55th

- Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS). 3-8 January 2022, Hawaii, USA, 2022, S. 6105–6114
- [NBK21] NAZEMI, K.; BURKHARDT, D.; KOCK, A.: Visual analytics for technology and innovation management. Multimedia Tools and Applications, 2021
- [New21] Big Data and AI Executive Survey 2021 – Executive Summary of Findings – The Journey to Becoming Data-Driven: A Progress Report on the State of Corporate Data Initiatives, 2021
- [New75] NEWTON, I.: Acceptance of an Invitation for a Private Correspondence and Collaboration. Brief, 1675
- [NK18] NORTH, K.; KUMTA, G.: Knowledge Management. Springer International Publishing, Cham, 2018
- [Nus15] NUSSBAUMER KNAFLIC, C.: Storytelling with data – A data visualization guide for business professionals. Wiley, Hoboken, New Jersey, 2015
- [NVM13] NICKERSON, R. C.; VARSHNEY, U.; MUNTERMANN, J.: A method for taxonomy development and its application in information systems. European Journal of Information Systems, (22)3, 2013, S. 336–359
- [Olb06] OLBRICH, R.: Marketing – Eine Einführung in die marktorientierte Unternehmensführung. 2. Auflage, Springer, Berlin, Heidelberg, 2006
- [ÖO10a] ÖSTERLE, H.; OTTO, B.: Consortium Research. Business & Information Systems Engineering, (2)5, 2010, S. 283–293
- [ÖO10b] ÖSTERLE, H.; OTTO, B.: Konsortialforschung. WIRTSCHAFTSINFORMATIK, (52)5, 2010, S. 273–285
- [OP06] OGAWA, S.; PILLER, F. T.: Reducing the risks of new product development. MIT Sloan Management Review, (47)2, 2006
- [OPB+14] OSTERWALDER, A.; PIGNEUR, Y.; BERNARDA, G.; SMITH, A.; PAPADAKOS, P.: Value proposition design – How to create products and services customers want. Wiley, Hoboken, NJ, 2014
- [PBF+05] PAHL, G.; BEITZ, W.; FELDHUSEN, J.; GROTE, K.-H.: Konstruktionslehre – Grundlagen erfolgreicher Produktentwicklung Methoden und Anwendung. 6. Auflage, Springer-Lehrbuch, Springer-Verlag, Berlin, 2005
- [PBG+93-ol] PFEIFER, W.; BRAUN, W.; GINSCHER, G.; HAGEN, G.; HUBER, A.; MÜLLER, K.; PETERMANN, H.; PFEIFER, G.; SCHRÖTER, D.; SCHRÖTER, U.: „Produkt“ – In: Etymologisches Wörterbuch des Deutschen. Digitalisierte und von Wolfgang Pfeifer überarbeitete Version im Digitalen Wörterbuch der deutschen Sprache. Unter: <https://www.dwds.de/wb/etymwb/Produkt>, 1. Oktober 2023
- [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.: How Smart, Connected Products Are Transforming Competition. Harvard Business Review, (92)11, 2014, S. 64–88

- [PH15] PORTER, M. E.; HEPPELMANN, J. E.: How Smart, Connected Products Are Transforming Companies. *Harvard Business Review*, (93)10, 2015, S. 96–114
- [Pia90] PIATETSKY-SHAPIO, G.: Knowledge Discovery in Real Databases: A Report on the IJCAI-89 Workshop. *AI Magazine*, (11)4, 1990, S. 68–70
- [PL11] PONN, J.; LINDEMANN, U.: Konzeptentwicklung und Gestaltung technischer Produkte – Systematisch von Anforderungen zu Konzepten und Gestaltlösungen. 2. Auflage, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 2011
- [PLS+19] PASICHNYI, O.; LEVIHN, F.; SHAHROKNI, H.; WALLIN, J.; KORDAS, O.: Data-driven strategic planning of building energy retrofitting: The case of Stockholm. *Journal of Cleaner Production*, (233), 2019, S. 546–560
- [PME+22] PANZNER, M.; MEYER, M.; ENZBERG, S. VON; DUMITRESCU, R.: Business-to-Analytics Canvas - Translation of Product Planning-Related Business Use Cases into Concrete Data Analytics Tasks. *Procedia CIRP*, (109), 2022, S. 580–585
- [Por79] PORTER, M. E.: How Competitive Forces Shape Strategy. *Harvard Business Review*, (57)2, 1979, S. 137–145
- [Poy21] POYNTER, R.: Market research: A state of the nation review. *International Journal of Market Research*, (63)4, 2021, S. 403–407
- [Pro21] The State of Product Management – Annual Report, 2021
- [PRR12] PROBST, G.; RAUB, S.; ROMHARDT, K.: Wissen managen. Gabler Verlag, Wiesbaden, 2012
- [QZL+18] QI, Q.; ZHAO, D.; LIAO, T. W.; TAO, F.: Modeling of Cyber-Physical Systems and Digital Twin Based on Edge Computing, Fog Computing and Cloud Computing Towards Smart Manufacturing: Proceedings of the ASME 13th International Manufacturing Science and Engineering Conference. The American Society of Mechanical Engineers, New York, N.Y., 2018, pp. 1–7
- [Rap21] RAPP, S. M.: Beitrag zur empirisch basierten Planung, Steuerung und methodischen Unterstützung von Variationen auf der Basis eines Referenzsystems im Modell der PGE – Produktgenerationsentwicklung. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Karlsruher Institut für Technologie (KIT), IPEK Institut für Produktentwicklung, Forschungsberichte, Band 136, Karlsruhe, 2021
- [RBC+17] RAMANUJAN, D.; BERNSTEIN, W. Z.; CHANDRASEGARAN, S. K.; RAMANI, K.: Visual Analytics Tools for Sustainable Lifecycle Design: Current Status, Challenges, and Future Opportunities. *Journal of Mechanical Design*, (139)11, 2017
- [RBY+19] RITOU, M.; BELKADI, F.; YAHOUNI, Z.; DA CUNHA, C.; LAROCHE, F.; FURET, B.: Knowledge-based multi-level aggregation for decision aid in the machining industry. *CIRP Annals*, (68)1, 2019, S. 475–478
- [RDL+21] RIESENER, M.; DÖLLE, C.; LENDER, B.; SCHUH, G.: Requirements Engineering through Exploratory Analysis of Usage Data: 2021 IEEE Technology & Engineering Management Conference – Europe (TEMSCON-EUR). 17-20 May 2021, Dubrovnik, Croatia, IEEE, 2021, S. 1–6

- [Rei16] REINHART, F.: Industrial Data Science - Data Science in der industriellen Anwendung. *Industrie 4.0 Management*, (32)6, 2016, S. 27–30
- [Rie11] RIES, E.: *The Lean Startup – How today's entrepreneurs use continuous innovation to create radically successful businesses*. Crown Business, New York, NY, 2011
- [Rig22-ol] RIGHT QUESTION INSTITUTE: What is the QFT? Unter: <https://rightquestion.org/what-is-the-qft/>, 16. Februar 2023
- [RKD17] REINHART, F.; KÜHN, A.; DUMITRESCU, R.: Schichtenmodell für die Entwicklung von Data Science Anwendungen im Maschinen- und Anlagenbau. In: Bodden, E.; Dressler, F.; Dumitrescu, R.; Gausemeier, J.; Meyer auf der Heide, F.; Scheytt, C.; Trächtler, A. (Hrsg.): *Wissenschaftsforum Intelligente Technische Systeme (WInTeSys) 2017*. 11. und 12. Mai 2017, Paderborn, Verlagsschriftenreihe des Heinz Nixdorf Instituts, Band 369, 2017, S. 321–334
- [RLH96] REINHART, G.; LINDEMANN, U.; HEINZL, J.: *Qualitätsmanagement*. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 1996
- [Rop09] ROPOHL, G.: *Allgemeine Technologie – Eine Systemtheorie der Technik*. 3. Auflage, Universitätsverlag Karlsruhe, Karlsruhe, 2009
- [Ros87] ROSCHMANN, K.: Betriebsdatenerfassung. In: Geitner, U. W. (Hrsg.): *CIM-Handbuch*. Vieweg+Teubner Verlag, Wiesbaden, 1987, S. 89–102
- [Row07] ROWLEY, J.: The wisdom hierarchy: representations of the DIKW hierarchy. *Journal of Information Science*, (33)2, 2007, S. 163–180
- [Run20] RUNKLER, T. A.: *Data Analytics*. Springer Fachmedien Wiesbaden, Wiesbaden, 2020
- [Rya16] RYAN, L.: *Visual imperative – Creating a visual culture of data discovery*. Morgan Kaufmann, Cambridge, MA, 2016
- [SB22] SHARAFUDDIN, S.; BELIK, I.: The evolution of data analytics through the lens of business cases. *Online Information Review*, 2022, S. 1167–1183
- [SBA02] SPECHT, G.; BECKMANN, C.; AMELINGMEYER, J.: *F&E-Management – Kompetenz im Innovationsmanagement*. 2. Auflage, Schäffer-Poeschel, Stuttgart, 2002
- [Sch61] SCHUMPETER, J. A.: *Konjunkturzyklen – Eine theoretische, historische und statistische Analyse des kapitalistischen Prozesses*. Grundriss der Sozialwissenschaft, Vandenhoeck & Ruprecht, Göttingen, 1961
- [SD12] SHARMA, V.; DAVE, M.: SQL and NoSQL Databases. *International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering*, (2)8, 2012, S. 20–27
- [SIG04] SCHIEFFER, A.; ISAACS, D.; GYLLENPALM, B.: The world café: part one. *World Business Academy: Transformation*, (18)8, 2004, S. 1–9
- [SKI+17] SIVARAJAH, U.; KAMAL, M. M.; IRANI, Z.; WEERAKKODY, V.: Critical analysis of Big Data challenges and analytical methods. *Journal of Business Research*, (70), 2017, S. 263–286

- [SKR+10] SHVACHKO, K.; KUANG, H.; RADIA, S.; CHANSLER, R.: The Hadoop Distributed File System: 2010 IEEE 26th Symposium on Mass Storage Systems and Technologies (MSST). IEEE, 2010
- [SL05] SÄÄKSJÄRVI, M.; LAMPINEN, M.: Consumer perceived risk in successive product generations. *European Journal of Innovation Management*, (8)2, 2005, S. 145–156
- [SLT19] SAUNDERS, M.; LEWIS, P.; THORNHILL, A.: *Research methods for business students*. Pearson; ProQuest Ebook Central, Harlow England, 2019
- [SP15] SCHMITT, R.; PFEIFER, T.: *Qualitätsmanagement – Strategien - Methoden - Techniken*. 5. Auflage, Hanser, München, 2015
- [Spu98] SPUR, G.: *Technologie und Management – Zum Selbstverständnis der Technikwissenschaften*. Hanser, München, 1998
- [SS21] SHAHID, N. U.; SHEIKH, N. J.: Impact of Big Data on Innovation, Competitive Advantage, Productivity, and Decision Making: Literature Review. *Open Journal of Business and Management*, (09)02, 2021, S. 586–617
- [SSE+14] STEENSTRUP, K.; SALLAM, R.; ERIKSEN, L.; JACOBSON, S.: *Industrial Analytics Revolutionizes Big Data in the Digital Business*, 2014
- [SSH+06] SHAHBAZ, M.; SRINIVAS, M.; HARDING, J. A.; TURNER, M.: Product Design and Manufacturing Process Improvement Using Association Rules. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, (220)2, 2006, S. 243–254
- [Str98] STRUBE, G.: Modelling motivation and action control in cognitive systems. In: Schmid, U.; Krems, J. F.; Wysotzki, F. (Hrsg.): *Mind Modelling*. Pabst, Lengerich, 1998, S. 89–108
- [SVA+17] SCHMITT, R. H.; VOET, H.; ALTENHOF, M.; FALK, B.: Neue Ansätze des Qualitätsmanagements in der Entwicklung von Smart Products. In: Otten, H.; Götz, J.; Pollak, S. (Hrsg.): *Heutige und zukünftige Herausforderungen an die Qualitätswissenschaft – Bericht zur GQW-Jahrestagung 2017 in Erlangen*. FAU University Press, Erlangen, 2017, S. 3–25
- [TBD+10] TERZI, S.; BOURAS, A.; DUTTA, D.; GARETTI, M.; KIRITSIS, D.: Product lifecycle management – from its history to its new role. *International Journal of Product Lifecycle Management*, (4)4, 2010, S. 360–389
- [Tho17-ol] THOMAS, A.: Kaggle 2017 Survey Results. 2017 Kaggle Machine Learning and Data Science Survey. Unter: <https://www.kaggle.com/code/amberthomas/kaggle-2017-survey-results>, 12. Oktober 2022
- [TLC+15] TSAI, C.-W.; LAI, C.-F.; CHAO, H.-C.; VASILAKOS, A. V.: Big data analytics: a survey. *Journal of Big Data*, (2)1, 2015
- [TPC15] THORNBURG, R.; PERHAMUS, L. M.; CHARMAS, K.: Grounded Theory. In: Saracho, O. (Ed.): *Handbook of Research Methods in Early Childhood Education, Volume 1 – Review of Research Methodologies*. Contemporary Perspectives in Early Childhood Education, Information Age Publishing, Charlotte, 2015, pp. 405–439

- [TPM+07] TERZI, S.; PANETTO, H.; MOREL, G.; GARETTI, M.: A holonic metamodel for product traceability in Product Lifecycle Management. *International Journal of Product Lifecycle Management*, (2)3, 2007, S. 253–289
- [Tuo99] TUOMI, I.: Data is more than knowledge: implications of the reversed knowledge hierarchy for knowledge management and organizational memory: *Proceedings of the 32nd Annual Hawaii International Conference on Systems Sciences*. Hawaii, USA, IEEE Comput. Soc, 1999
- [Tya03] TYAGI, S.: Using data analytics for greater profits. *Journal of Business Strategy*, (24)3, 2003, S. 12–14
- [TZY+19] TIAN, Y.; ZHANG, Z.; YU, Y.; LIU, X.; HUANG, H.: The Construction of Visual Cognitive Decision-making Platform with User Insight and The Fashion Trend in the Era of Big Data. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, (520), 2019, S. 12012
- [UDP+20] UHLMANN, E.; DUMITRESCU, R.; POLTE, J.; MEYER, M.; SIMSEK, D.: Datengetriebene Steigerung der Verfügbarkeit. *wt Werkstattstechnik online*, (110)07-08, 2020, S. 532–535
- [UE16] ULRICH, K. T.; EPPINGER, S. D.: *Product design and development*. 6th Edition, McGraw-Hill, New York, NY, 2016
- [VAE+19] VOET, H.; ALTENHOF, M.; ELLERICH, M.; SCHMITT, R. H.; LINKE, B.: A Framework for the Capture and Analysis of Product Usage Data for Continuous Product Improvement. *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, (141)2, 2019
- [VDI/E3714] Implementierung und Betrieb von Big-Data-Anwendungen in der produzierenden Industrie – Durchführung von Big-Data-Projekten (Implementation and operation of big data applications in the manufacturing industry – Implementation of big data projects), 2022
- [VDI2206] Entwicklung mechatronischer und cyber-physischer Systeme, 2004
- [VDI4520] Produktmanagement – Einführung und Grundlagen (Product management – Introduction and basics), 2017
- [VHN08] VERWORN, B.; HERSTATT, C.; NAGAHIRA, A.: The fuzzy front end of Japanese new product development projects: impact on success and differences between incremental and radical projects. *R&D Management*, (38)1, 2008, S. 1–19
- [vOL12] VAN HORN, D.; OLEWNIK, A.; LEWIS, K.: Design Analytics: Capturing, Understanding, and Meeting Customer Needs Using Big Data: *Proceedings of the ASME 2012 International Design Engineering Technical Conferences & Computers and Information in Engineering Conference*. ASME 2012 International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference, 12-15 August 2012, Chicago, Illinois, USA, American Society of Mechanical Engineers, 2012, S. 863–875
- [vom07] VOM BROCKE, J.: *Design Principles for Reference Modeling: Reusing Information Models by Means of Aggregation, Specialisation, Instantiation, and Analogy: Reference Modeling for Business Systems Analysis*. IGI Global, 2007, S. 47–76

- [VPK18] VASSAKIS, K.; PETRAKIS, E.; KOPANAKIS, I.: Big Data Analytics: Applications, Prospects and Challenges. In: Mastorakis, G.; Mavromoustakis, C. X.; Dobre, C.; Pallis, E.; Skourletopoulos, G. (Eds.): *Mobile Big Data – A Roadmap from Models to Technologies*. SpringerLink Bücher, 10, Springer, Cham, 2018, pp. 3–20
- [VRC+08] VAQUERO, L. M.; RODERO-MERINO, L.; CACERES, J.; LINDNER, M.: A break in the clouds. *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, (39)1, 2008, S. 50–55
- [Wal95] WALLASCHECK, J.: Modellierung und Simulation als Beitrag zur Verkürzung der Entwicklungszeiten mechatronischer Produkte: VDI-Berichte Nr. 1215, 1995, S. 35–50
- [Wat17] WATSON, H. J.: Data Visualization, Data Interpreters, and Storytelling. *Business Intelligence Journal*, (22)1, 2017, S. 5–10
- [WBR+22] WAGENMANN, S.; BURSAC, N.; RAPP, S.; ALBERS, A.: Success Factors for the Validation of Requirements for New Product Generations – A Case Study on Using Field Gathered Data. *Proceedings of the Design Society*, (2), 2022, S. 1805–1814
- [WD06] WESTKÄMPER, E.; DECKER, M.: Einführung in die Organisation der Produktion. Springer-Lehrbuch, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 2006
- [Wel15] WELBOURNE, T. M.: Data-Driven Storytelling: The Missing Link in HR Data Analytics. *Employment Relations Today*, (41)4, 2015, S. 27–33
- [Wes17] WESTERMANN, T.: Systematik zur Reifegradmodell-basierten Planung von Cyber-Physical Systems des Maschinen- und Anlagenbaus, 2017
- [WFH+18] WILBERG, J.; FAHRMEIER, L.; HOLLAUER, C.; OMER, M.: Deriving a Use Phase Data Strategy for Connected Products: A Process Model: *Proceedings of the DESIGN 2018. 15th International Design Conference*, May, 21–24, 2018, Design Conference Proceedings, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture, University of Zagreb, Croatia; The Design Society, Glasgow, UK, 2018, S. 1441–1452
- [WGA+17] WAMBA, S. F.; GUNASEKARAN, A.; AKTER, S.; REN, S. J.; DUBEY, R.; CHILDE, S. J.: Big data analytics and firm performance: Effects of dynamic capabilities. *Journal of Business Research*, (70), 2017, S. 356–365
- [WH00] WIRTH, R.; HIPPE, J.: CRISP-DM: Towards a Standard Process Model for Data Mining: *Proceedings of the 4th international conference on the practical applications of knowledge discovery and data mining*. Springer, London, UK, 2000, S. 29–40
- [Whi12] WHITE, T.: *Hadoop – The Definitive Guide*. 3rd Edition, O'Reilly, Beijing, 2012
- [WHL20] WU, L.; HITT, L.; LOU, B.: Data Analytics, Innovation, and Firm Productivity. *Management Science*, (66)5, 2020, S. 2017–2039
- [WHT14] WUEST, T.; HRIBERNIK, K.; THOBEN, K.-D.: Capturing, Managing and Sharing Product Information along the Lifecycle for Design Improvement. In: Meyer, A.; Schirmeyer, R.; Vajna, S. (Hrsg.): *Proceedings of the 10th International Workshop on Integrated Design Engineering*. Magdeburg/Gommern, 2014, S. 107–115
- [Wil20] WILBERG, J. M. M.: From data to value: facilitating strategy development for connected products. *Produktentwicklung*, Verlag Dr. Hut, München, 2020

- [WIM23] WIEDERKEHR, I.; ISENBERG, L.; MEYER, M.: Effiziente Umsetzung in Unternehmen. In: Dumitrescu, R.; Koldewey, C. (Hrsg.): Datengestützte Produktplanung – Mit Betriebsdaten und Data Analytics zur faktenbasierten Planung zukünftiger Produktgenerationen im produzierenden Gewerbe. Verlagsschriftenreihe des Heinz Nixdorf Instituts, Band 408, Paderborn, 2023, S. 78–87
- [WKF+18] WILBERG, J.; KALLA, T.; FETSCHER, M.; RIMBOCK, F.; HOLLAUER, C.; OMER, M.: Development of a Use Phase Data Strategy for Connected Products: A Case Study in Industry: 2018 Portland International Conference on Management of Engineering and Technology (PICMET). 2018 Portland International Conference on Management of Engineering and Technology (PICMET), 19.08.2018 - 23.08.2018, Honolulu, HI, IEEE, 2018, S. 1–12
- [WKR+22] WAGENMANN, S.; KRAUSE, A.; RAPP, S.; HÜNEMEYER, S.; ALBERS, A.; BURSAC, N.: Process Model for the Data-driven Identification of Machine Function Usage for the Reduction of Machine Variants: 2022 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM). Kuala Lumpur, Malaysia, 2022, S. 444–451
- [WLN+18] WILBERG, J.; LAU, K.; NÜTZEL, T.; HOLLAUER, C.; OMER, M.: Development of a catalogue supporting idea generation for internet of things use cases: Proceedings of the DESIGN 2018. 15th International Design Conference, May, 21–24, 2018, Design Conference Proceedings, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture, University of Zagreb, Croatia; The Design Society, Glasgow, UK, 2018, pp. 1453–1464
- [WPF+20] WANG, W. M.; PREIDEL, M.; FACHBACH, B.; STARK, R.: Towards a Reference Model for Knowledge Driven Data Provision Processes. In: Camarinha-Matos, L. M.; Af-sarmanesh, H.; Ortiz, A. (Hrsg.): Boosting Collaborative Networks 4.0. IFIP Advances in Information and Communication Technology, Springer International Publishing, Cham, 2020, S. 123–132
- [WPS+12] WÜHR, D.; PFEIFFER, S.; SCHÜTT, P.; HUCHLER, N.: Innovation im Maschinenbau entlang des Produktlebenszyklus (PLC). In: Pfeiffer, S.; Schütt, P.; Wühr, D. (Hrsg.): Smarte Innovation. VS Verlag für Sozialwissenschaften, Wiesbaden, 2012, S. 75–97
- [WSK+17] WILBERG, J.; SCHÄFER, F.; KANDBINDER, P.; HOLLAUER, C.; OMER, M.; LINDEMANN, U.: Data Analytics in Product Development: Implications from Expert Interviews: IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM). Singapore, 2017, S. 818–822
- [WTH+17] WILBERG, J.; TRIEP, I.; HOLLAUER, C.; OMER, M.: Big Data in product development: Need for a data strategy. In: Kocaoglu, D. F. (Hrsg.): Proceedings of PICMET '17: Technology Management for Interconnected World. Portland, USA, Portland, 2017, S. 1–10
- [XFR16] XU, Z.; FRANKWICK, G. L.; RAMIREZ, E.: Effects of big data analytics and traditional marketing analytics on new product success: A knowledge fusion perspective. *Journal of Business Research*, (69)5, 2016, S. 1562–1566

- [Yin18] YIN, R. K.: Case study research and applications – Design and methods. SAGE, Los Angeles, 2018
- [ZJ15] ZABUKOVEC, A.; JAKLIČ, J.: The Impact of Information Visualisation on the Quality of Information in Business Decision-Making. *International Journal of Technology and Human Interaction*, (11)2, 2015, S. 61–79
- [ZMW20] ZHANG, A. X.; MULLER, M.; WANG, D.: How do Data Science Workers Collaborate? Roles, Workflows, and Tools. *Proceedings of the ACM on Human-Computer Interaction*, (4)CSCW1, 2020, S. 1–23
- [ZZZ+22] ZHANG, H.; ZANG, Z.; ZHU, H.; UDDIN, M. I.; AMIN, M. A.: Big data-assisted social media analytics for business model for business decision making system competitive analysis. *Information Processing & Management*, (59)1, 2022

Anhang

A1	Grundlegende Forschungsprojekte	229
	A1.1 DizRuPt – Datengestützte Produktplanung.....	229
	A1.2 ZuPro – Zukunftsrobuste Produktentwicklung.....	230
A2	Ergänzungen zu den generischen Use Cases.....	233
	A2.1 Karten der entwickelten Use Cases	233
	A2.2 Karten der verwendeten Nutzelemente.....	243

A1 Grundlegende Forschungsprojekte

Die vorliegende Arbeit ist das Ergebnis der Forschungsaktivitäten des Autors in zwei Forschungsprojekten. In Anhang A1.1 wird zuerst das Projekt DizRuPt – Datengestützte Produktplanung vorgestellt. Anhang A1.2 beschreibt anschließend das Projekt ZuPro – Zukunftsrobuste Produktentwicklung.

A1.1 DizRuPt – Datengestützte Produktplanung

Das vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geförderte Konsortialforschungsprojekt DizRuPt verfolgte die Entwicklung eines Instrumentariums für die Betriebsdaten-gestützte Retrofit- und Generationsplanung. Dieses sollte Konzepte, Methoden, Wissen und IT-Systeme zur Verfügung stellen, mit denen Unternehmen Betriebsdaten-Analysen in der Produktplanung einsetzen können, um bestehende und neue Produktgenerationen zu optimieren. Dabei wurde ein sozio-technischer Ansatz verfolgt, indem die drei Perspektiven Technik, Mensch und Organisation betrachtet wurden [DK23, S. 4f.]. Bild A-1 zeigt den sich daraus ergebenden Gestaltungsraum des Forschungsprojekts. Bearbeitet wurde das Projekt in einem Konsortium, das aus drei Forschungsinstituten, einem Befähiger- und vier Anwenderunternehmen bestand. Darüber hinaus wurde ein Breitentransfer über Multiplikatoren und assoziierte Unternehmen realisiert [Dum18, S. 32]. Das Projekt startete im Januar 2019 und wurde im Juni 2022 erfolgreich abgeschlossen.

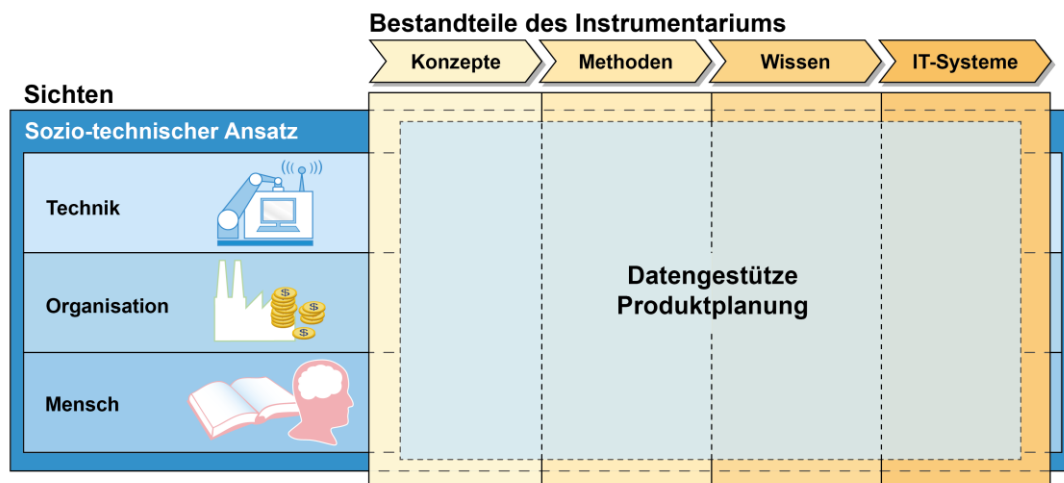


Bild A-1: Gestaltungsraum der Betriebsdaten-gestützten Produktplanung [DK23, S. 5]

Inhaltlich gliederte sich das Projekt in fünf Querschnitts-, vier Pilot- und vier Transferprojekte. In den Querschnittsprojekten ging es um (1) die Hypothesenfindung, (2) die Datenanalyse, (3) die strategische Generations- und Retrofitplanung, (4) die organisationale Umsetzung und (5) die Werkzeugunterstützung [Dum18, S. 44ff.], [MMD+19,

S. 996]. Die in den Querschnittsprojekten erarbeiteten Ergebnisse wurden in den Pilotprojekten angewendet. Die Transferprojekte bedienten verschiedene Möglichkeiten des Ergebnistransfers [Dum18, S. 44ff.]. Bild A-2 zeigt die beschriebene Projektstruktur. Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit basieren insbesondere auf der Forschung des Autors im ersten, dritten und vierten Querschnittsprojekt.

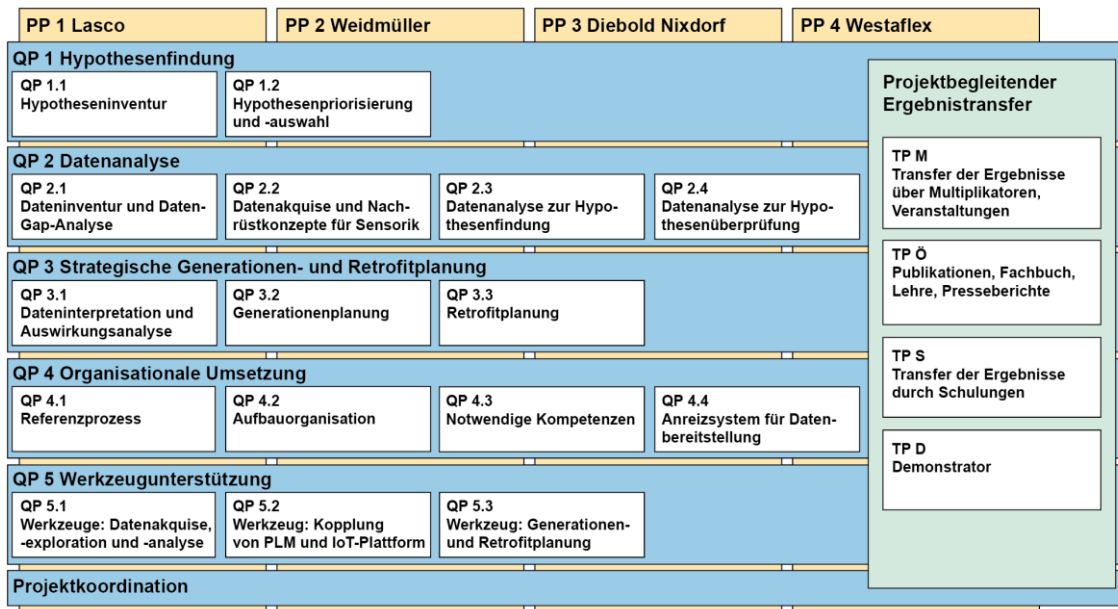


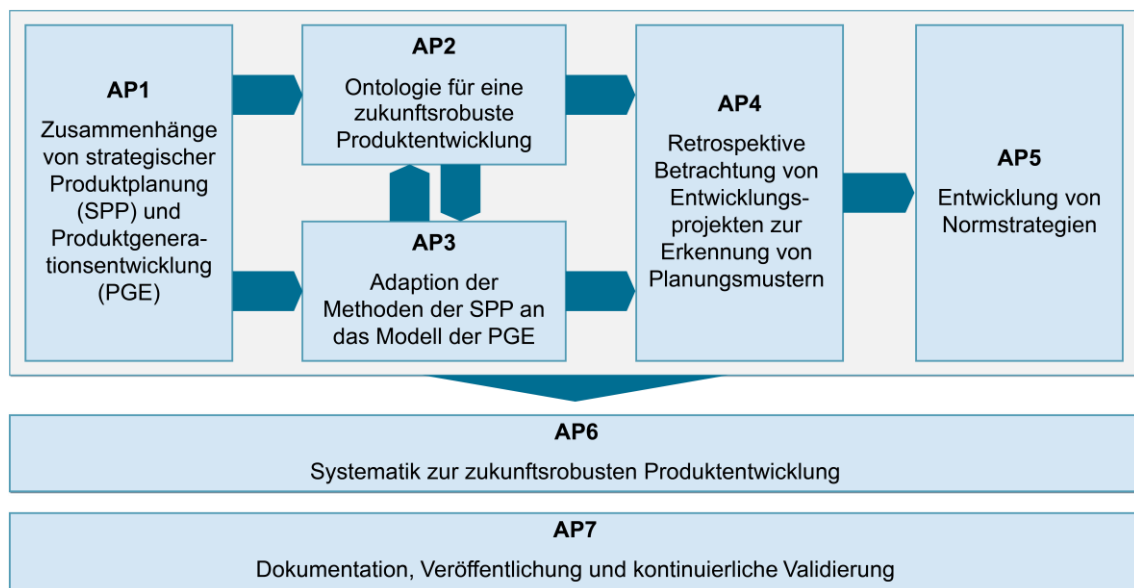
Bild A-2: Struktur des Forschungsprojekts DizRuPt [Dum18, S. 45]

A1.2 ZuPro – Zukunftsrobuste Produktentwicklung

Ziel des von der Deutschen Forschungsgemeinschaft geförderten Projekts ZuPro war ein Gesamtmodell der zukunftsrobusten Produktentwicklung. Dieses sollte (1) das Modell der PGE – Produktgenerationsentwicklung bzw. SGE – Systemgenerationsentwicklung (Abschnitt 3.3.1) in die strategische Produktplanung ausweiten und (2) die Zyklen der strategischen Produktplanung und der Produktentwicklung (vgl. Referenzmodell der strategischen Planung und integrativen Entwicklung von Marktleistungen in Abschnitt 2.3.4) im Kontext der Produkt- bzw. Systemgenerationsentwicklung miteinander verknüpfen. Neben dem Modell sollten Planungsmuster und Normstrategien zur zukunftsrobusten Produktentwicklung erarbeitet werden, um Unternehmen in wiederkehrenden Planungssituationen zu unterstützen [AD20, S. 9f.]. Das Projekt wurde von zwei Forschungsinstituten kooperativ durchgeführt: dem IPEK – Institut für Produktentwicklung am Karlsruher Institut für Technologie und dem Heinz Nixdorf Institut der Universität Paderborn. Das Projekt startete im Oktober 2020 und endete im Oktober 2023.

Den Kern des Projekts bildeten sieben Arbeitspakete. Die ersten fünf Arbeitspakete dienten der Entwicklung einer fundierten Grundlage für das Gesamtmodell. Im Fokus standen dabei (1) die Zusammenhänge von strategischer Produktplanung (SPP) und Produktgenerationsentwicklung (PGE), (2) eine Ontologie für eine zukunftsrobuste Produktent-

wicklung, (3) die Adaption der Methoden der SPP an das Modell der PGE, (4) die Retrospektive Betrachtung von Entwicklungsprojekten zur Erkennung von Planungsmustern sowie (5) die Entwicklung von Normstrategien. Zusammengeführt wurden diese Ergebnisse im Gesamtmodell: (6) einer Systematik zur zukunftsrobusten Produktentwicklung. Begleitend zur Entwicklung des Gesamtmodells der zukunftsrobusten Produktentwicklung arbeiteten die beiden Forschungsinstitute an (7) der Dokumentation, Veröffentlichung und kontinuierlichen Validierung der Ergebnisse. Bild A-3 zeigt die Struktur des Forschungsprojekts. Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit leiten sich primär aus den ersten drei Arbeitspaketen ab.



AP: Arbeitspaket

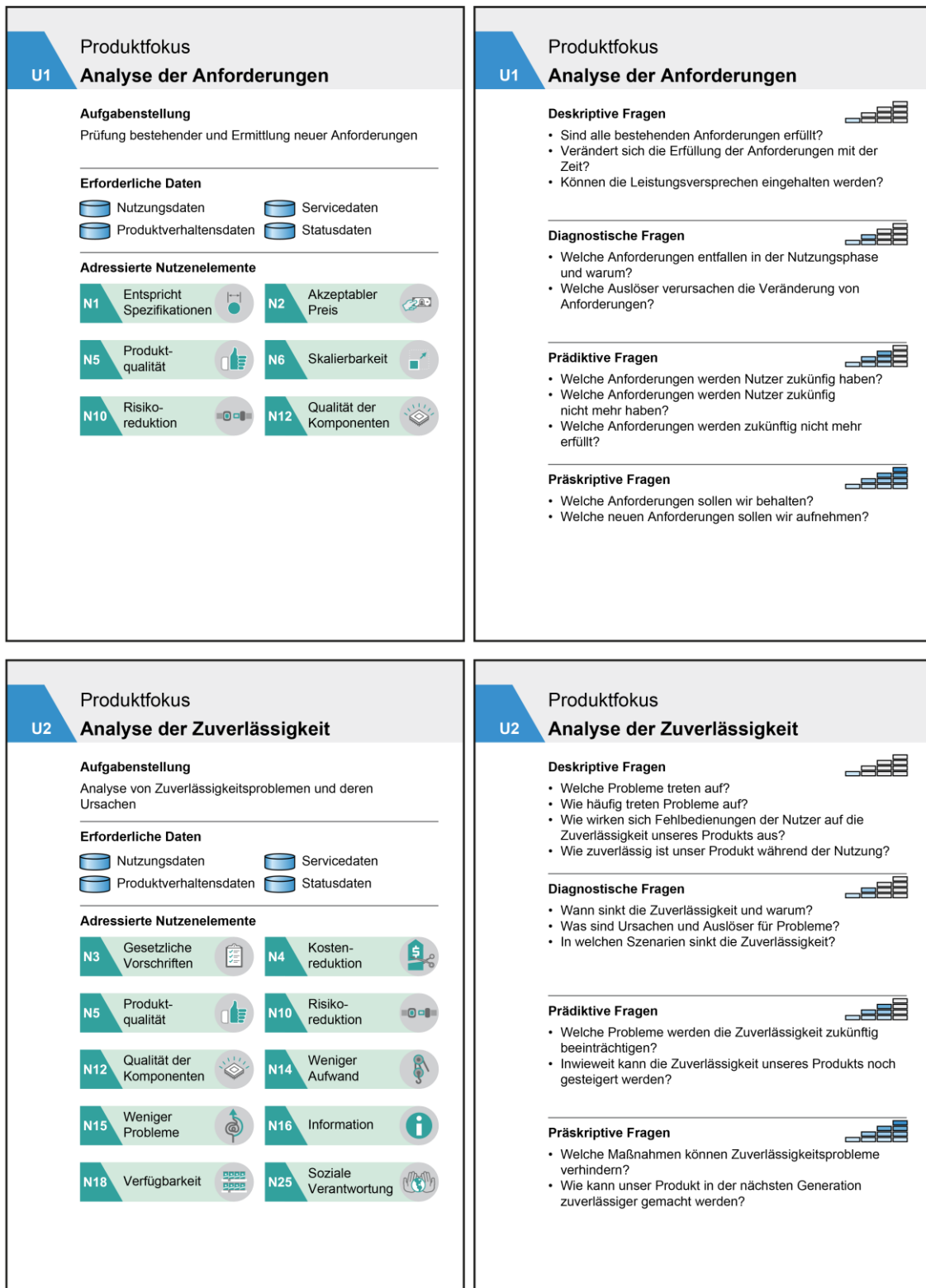
Bild A-3: Struktur des Forschungsprojekts ZuPro [AD20, S. 10]

A2 Ergänzungen zu den generischen Use Cases

Dieser Abschnitt enthält ergänzende Informationen zu den generischen Use Cases. Zunächst werden in Abschnitt A2.1 alle entwickelten Use Cases vorgestellt. Danach folgen in Abschnitt A2.2 alle verwendeten Nutzelemente. Der Überblick wird jeweils in Form der Vorder- und Rückseiten des entwickelten Kartensets präsentiert.

A2.1 Karten der entwickelten Use Cases

Auf den folgenden Bildern A-4 bis A-12 sind die Vorder- und Rückseiten aller Use-Case-Karten abgebildet.



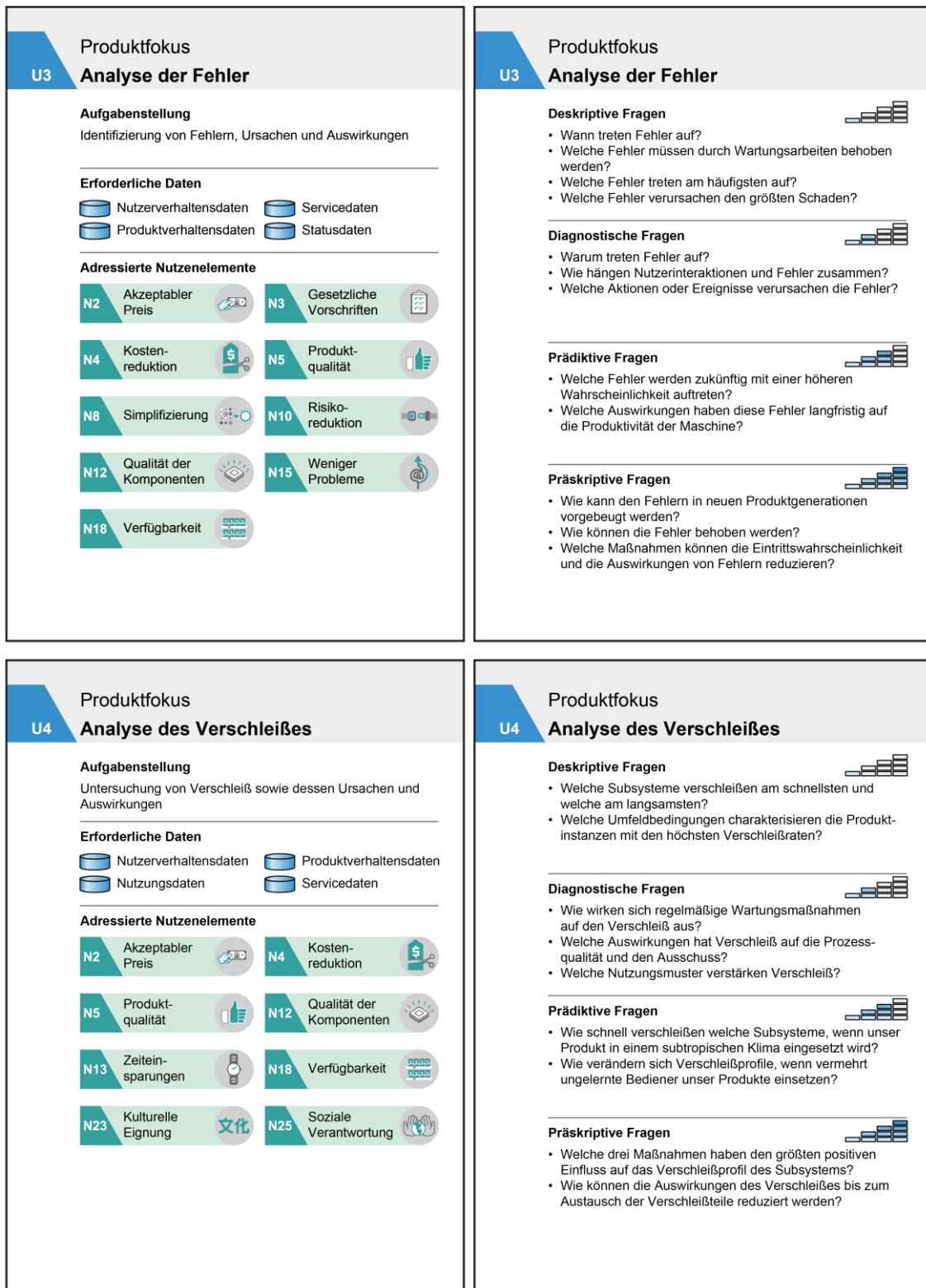


Bild A-5: Use-Case-Karten (2/9)

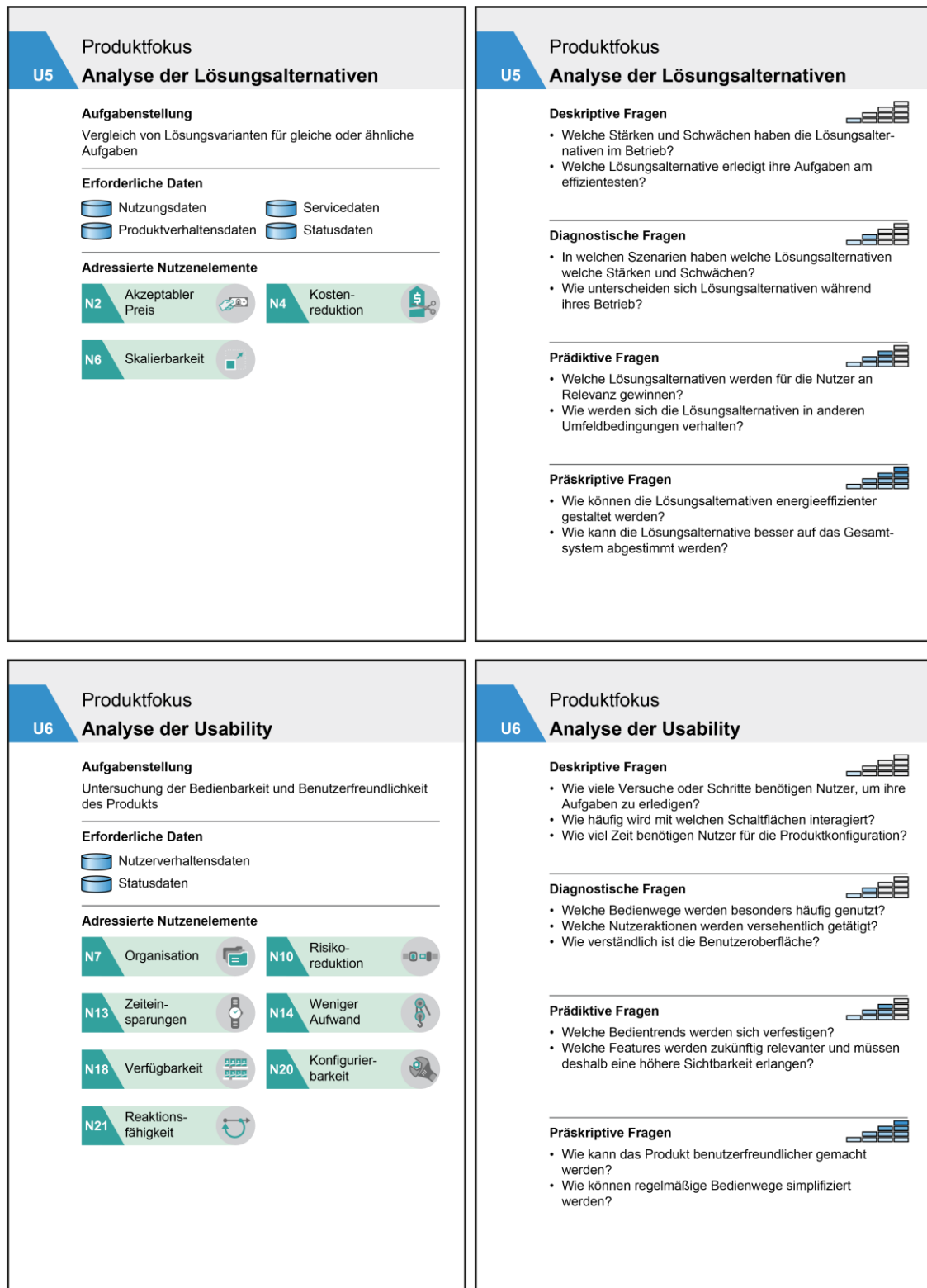


Bild A-6: Use-Case-Karten (3/9)



Bild A-7: Use-Case-Karten (4/9)



Bild A-8: Use-Case-Karten (5/9)



Bild A-9: Use-Case-Karten (6/9)



Bild A-10: Use-Case-Karten (7/9)



Bild A-11: Use-Case-Karten (8/9)

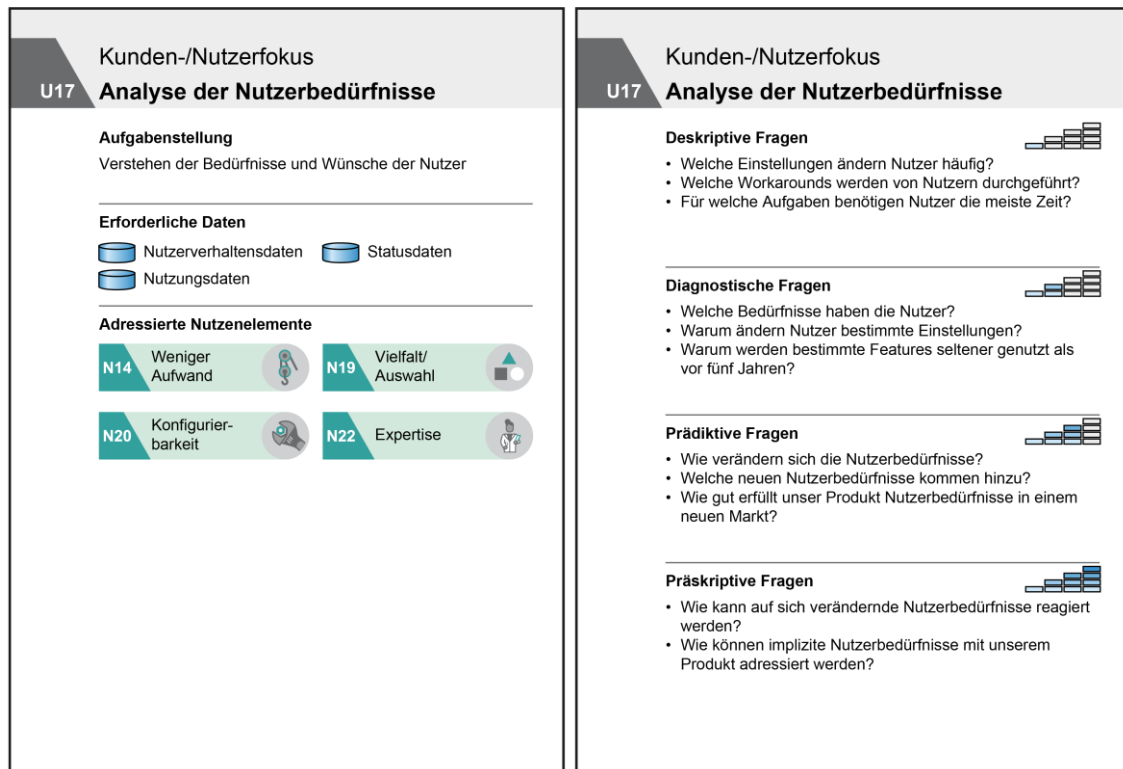


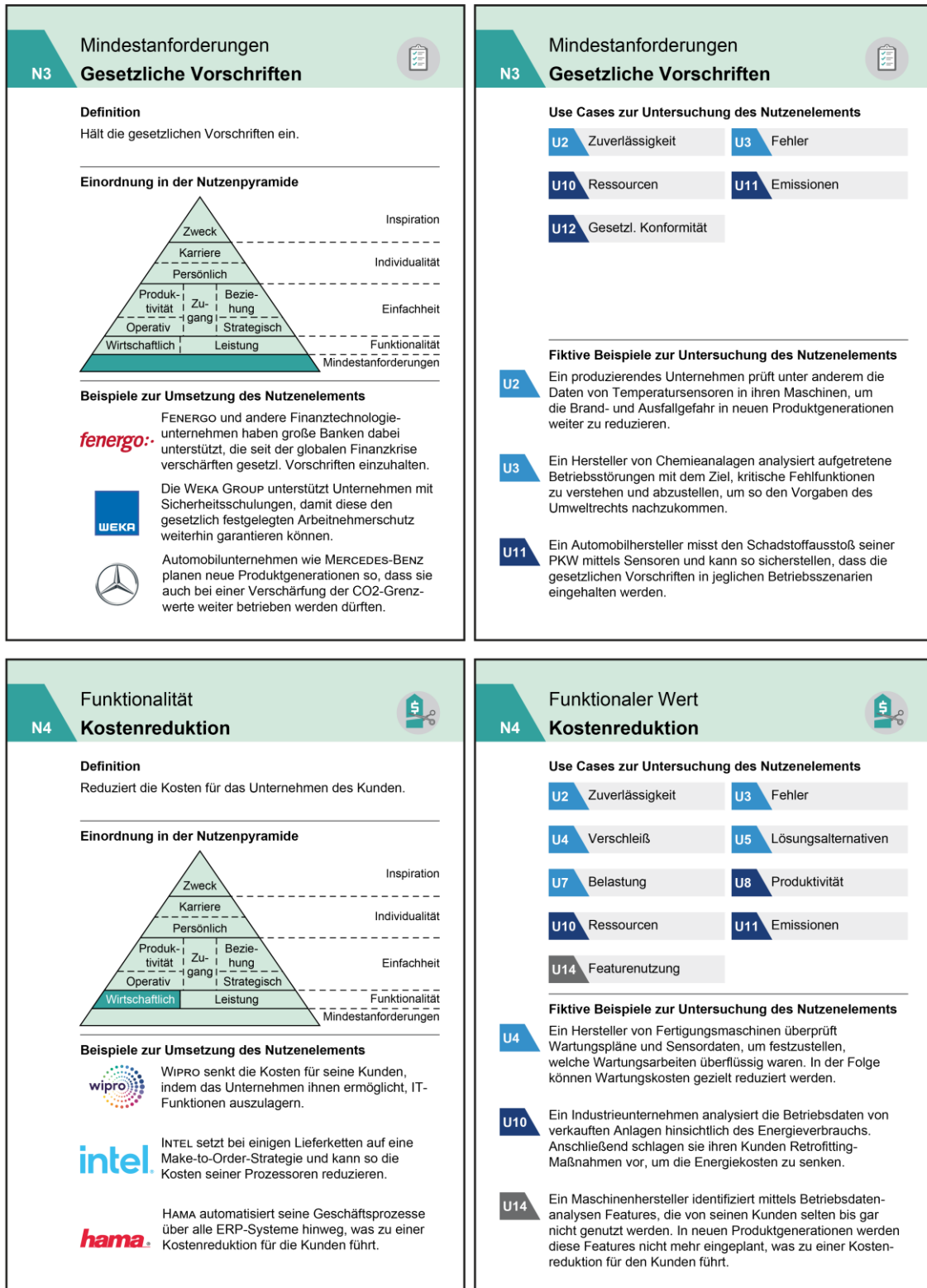
Bild A-12: Use-Case-Karten (9/9)

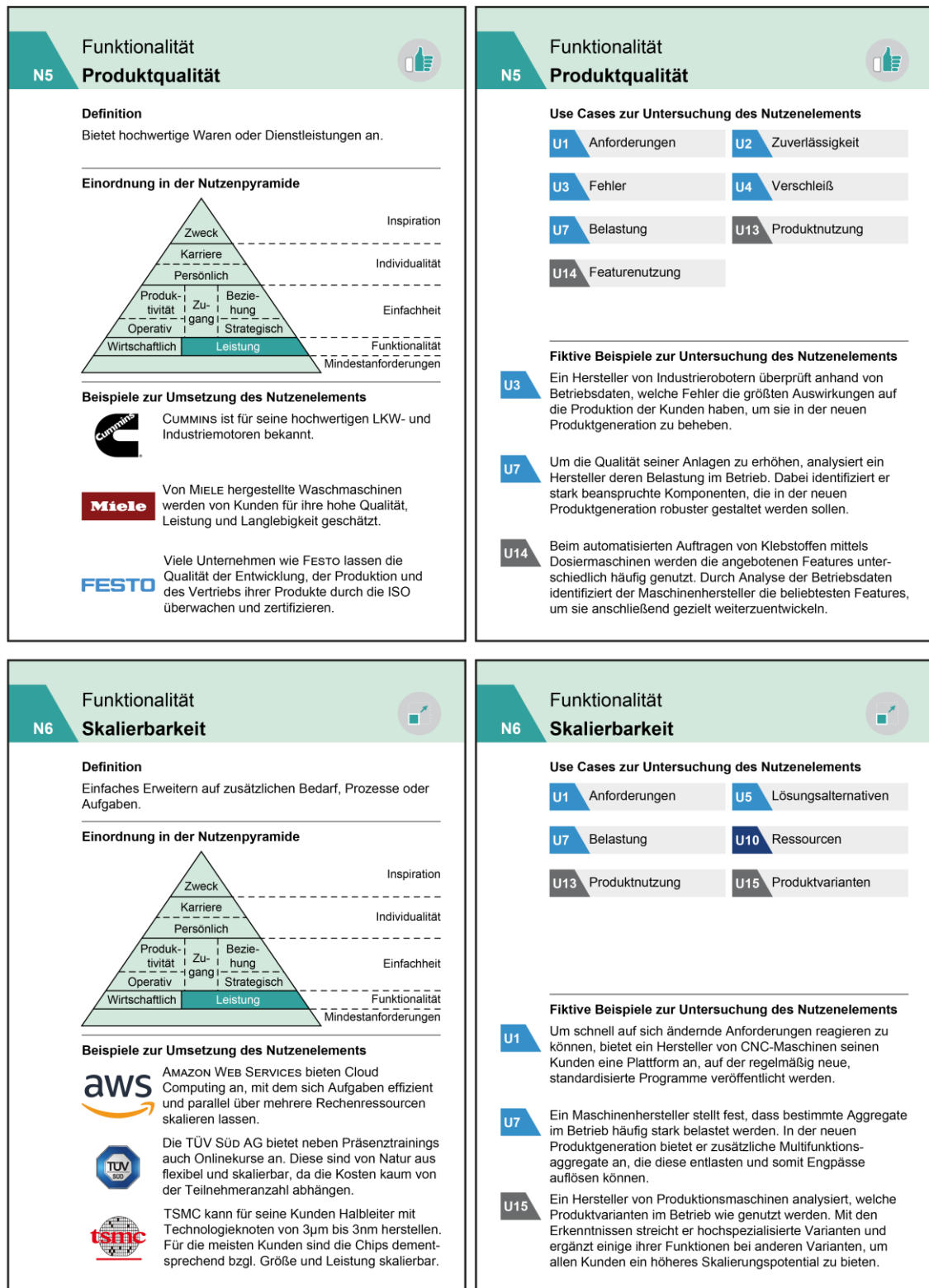
A2.2 Karten der verwendeten Nutzelemente

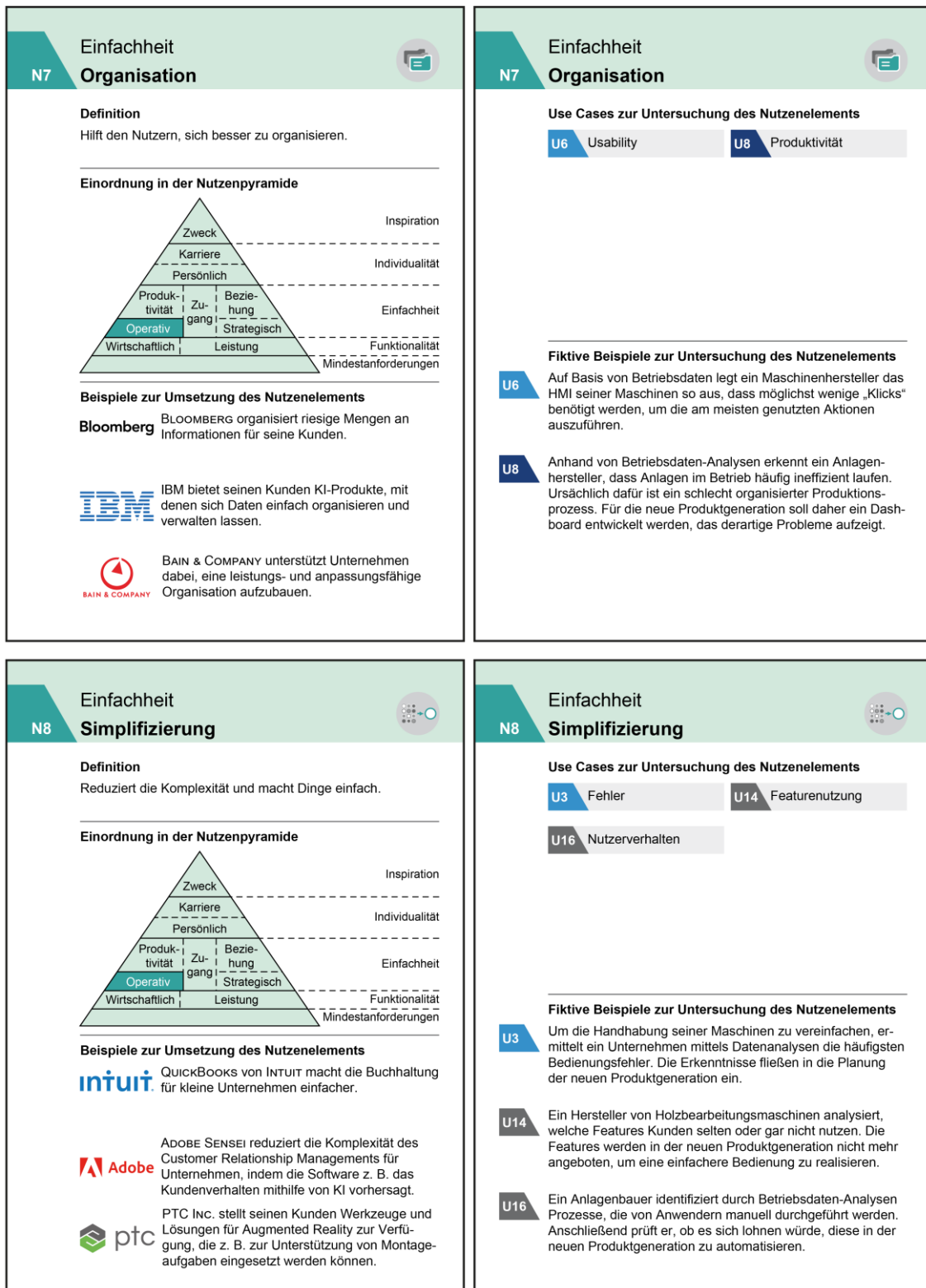
Auf den folgenden Bildern A-13 bis A-25 sind die Vorder- und Rückseiten aller Nutzelemente-Karten abgebildet.

Mindestanforderungen N1 Entspricht Spezifikationen Definition Entspricht den internen Spezifikationen des Kunden. Einordnung in der Nutzenpyramide Beispiele zur Umsetzung des Nutzelements NORTHROP GRUMMAN Rüstungsunternehmen wie NORTHROP GRUMMAN müssen mit neuen Produkten Ausschreibungs-Spezifikationen erfüllen, sonst riskieren sie den Verlust von Aufträgen. BAYER Pharmaunternehmen wie BAYER müssen mit ihren Produkten strenge Spezifikationen erfüllen, welche als Basis für die Qualitätsbewertung von Arzneimitteln und Wirkstoffen dienen. GETRIEBEBAU NORD GETRIEBEBAU NORD stellt auf seiner Website einen Produktkonfigurator zur Verfügung, mit dem Kunden die Spezifikationen des Produkts individuell festlegen können.	Mindestanforderungen N1 Entspricht Spezifikationen Use Cases zur Untersuchung des Nutzelements U1 Anforderungen U12 Gesetzl. Konformität Fiktive Beispiele zur Untersuchung des Nutzelements U1 Ein Laptop-Hersteller überprüft mittels Betriebsdaten-Analysen, ob die verkauften Produktinstanzen die vom Vertrieb definierten Anforderungen im Betrieb erfüllen. Nicht erfüllte Anforderungen werden in Updates adressiert. U12 Der verbaute Schadstoffsensor erlaubt es einem LKW-Hersteller zu analysieren, ob und wie häufig die Konzentration des ausgestoßenen Kohlenmonoxids den gesetzlich vorgegebenen Grenzwert überschreitet. Die Erkenntnisse nutzt er zur Optimierung der abgasrelevanten Systeme.
Mindestanforderungen N2 Akzeptabler Preis Definition Bietet Produkte oder Dienstleistungen zu einem akzeptablen Preis an. Einordnung in der Nutzenpyramide Beispiele zur Umsetzung des Nutzelements Pfizer Um Medikamente auch Bevölkerungsgruppen mit geringem Einkommen anbieten zu können, arbeitet PFIZER an Innovationen zur Senkung der Medikamenten-Kosten. Ansys ANSYS INC. verkauft Lizenzen für seine FEM-Software nur zu individuellen Konditionen. Durch Beratungsgespräche mit den Kunden kann ein akzeptabler Preis festgelegt werden. Apple APPLE ist unter anderem aufgrund der einzigartigen User Experience in der Lage, High-End-PCs zu höheren Preisen zu verkaufen als der Wettbewerb.	Mindestanforderungen N2 Akzeptabler Preis Use Cases zur Untersuchung des Nutzelements U1 Anforderungen U3 Fehler U4 Verschleiß U5 Lösungsalternativen U8 Produktivität U14 Featurenutzung Fiktive Beispiele zur Untersuchung des Nutzelements U4 Ein Waschmaschinenhersteller kann seine Produkte zu vergleichsweise hohen Preisen anbieten, weil Betriebsdaten aufzeigen, dass sie auch nach jahrelangem Betrieb noch eine hohe Waschqualität gewährleisten. U5 Ein Maschinenhersteller analysiert das Verhalten unterschiedlicher Elektromotoren im Betrieb. Der Motor mit dem besten Preis-Leistungsverhältnis wird in der neuen Maschinengeneration als Standard eingeplant und kann damit zu einem attraktiven Preis angeboten werden. U8 Auf der Grundlage von Betriebsdaten-Analysen steigert ein Maschinenbauunternehmen die Produktivität seiner Anlagen um 30%. In der Folge kann es sich erlauben, einen höheren Preis für die neue Produktgeneration aufzurufen.

Bild A-13: Nutzelemente-Karten (1/13)







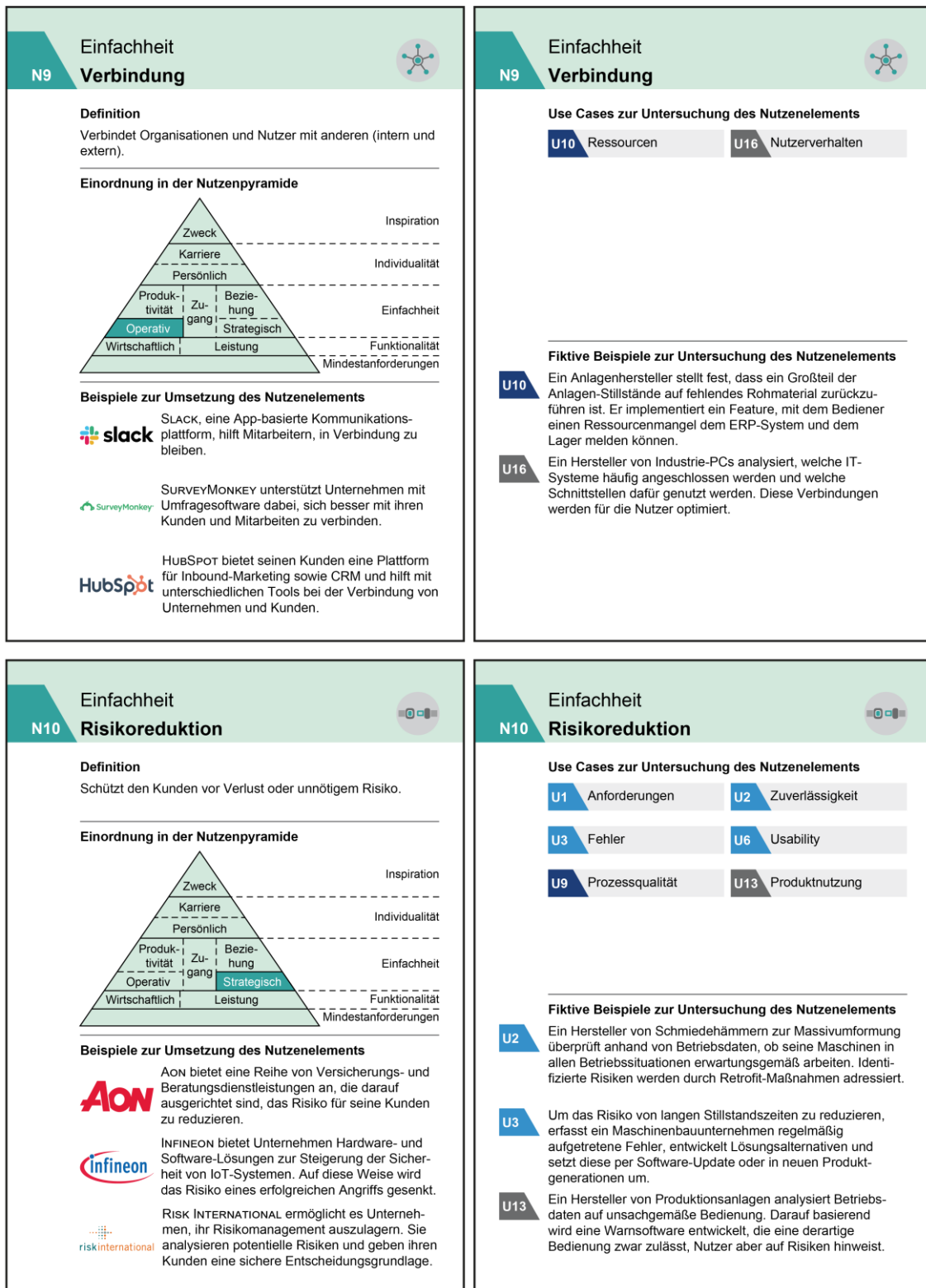


Bild A-17: Nutzelemente-Karten (5/13)

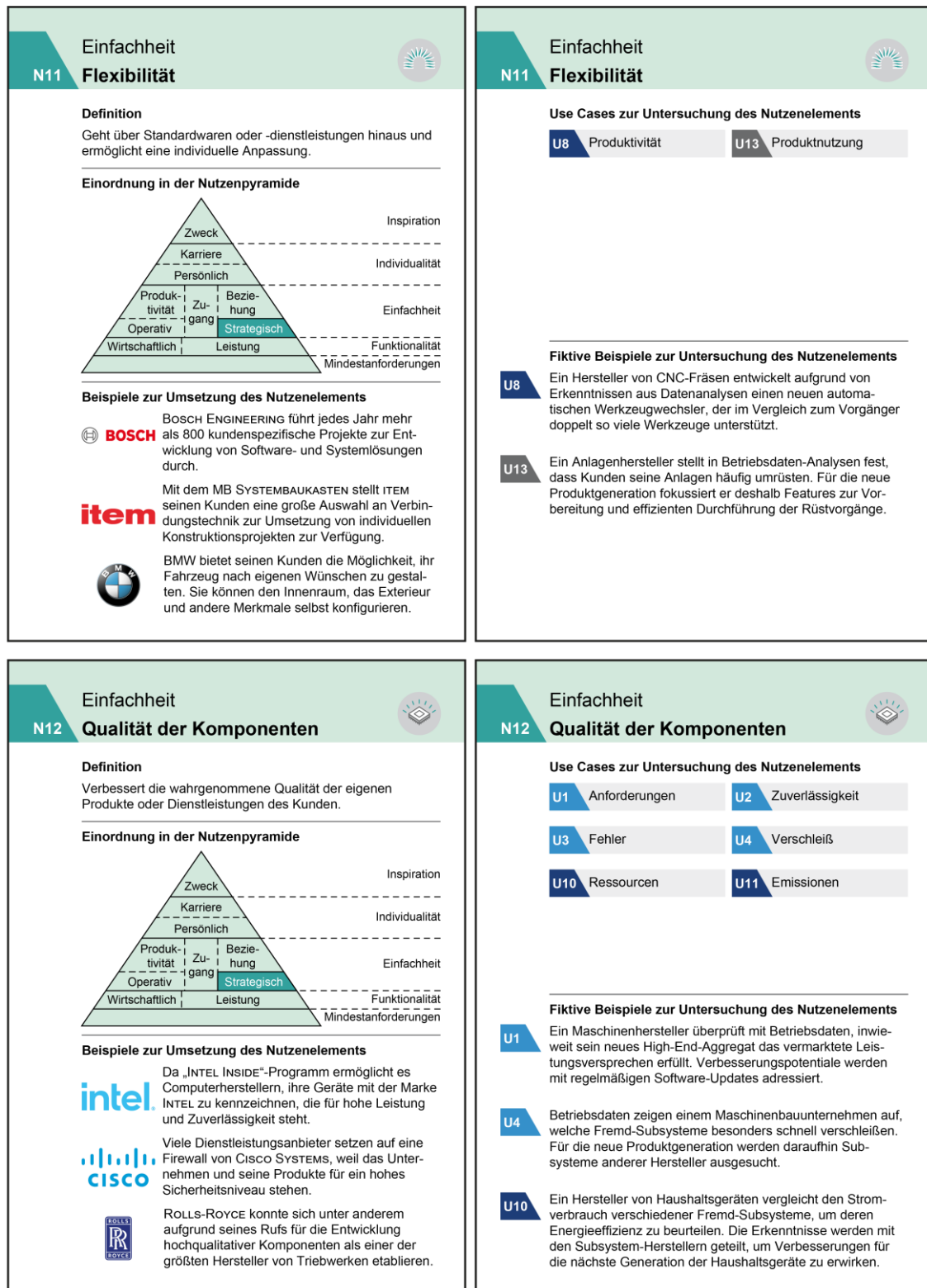
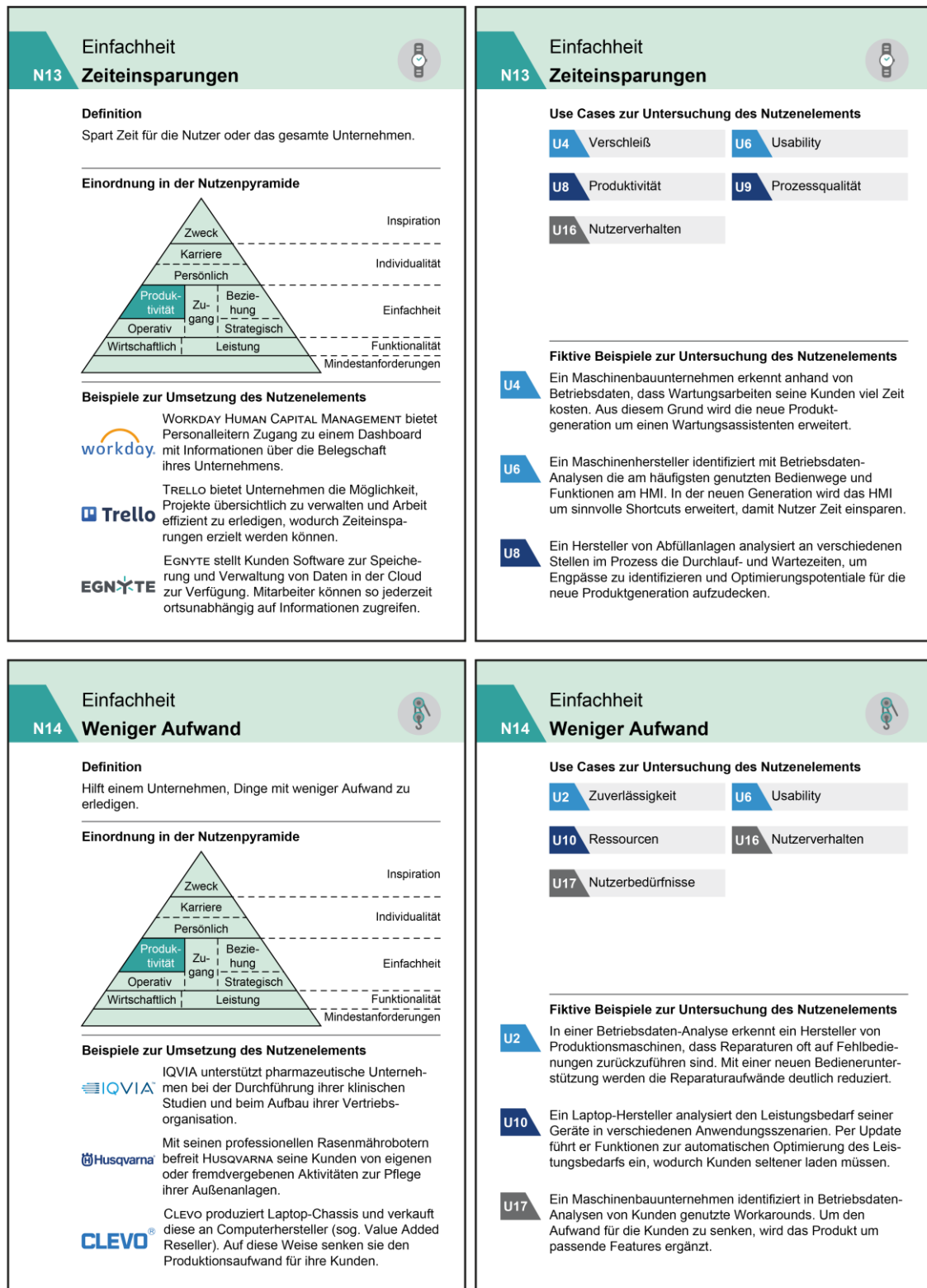


Bild A-18: Nutzelemente-Karten (6/13)



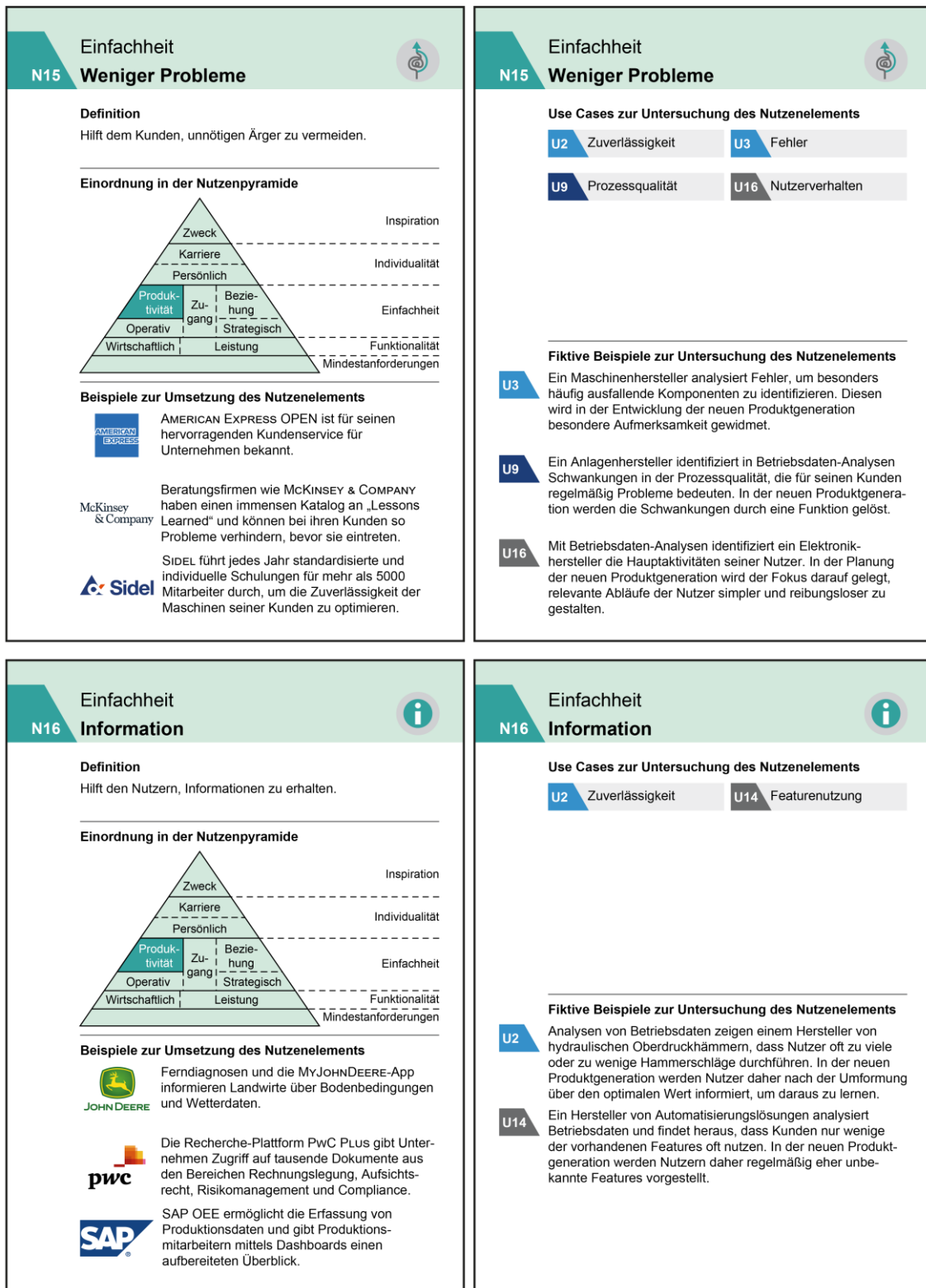


Bild A-20: Nutzelemente-Karten (8/13)

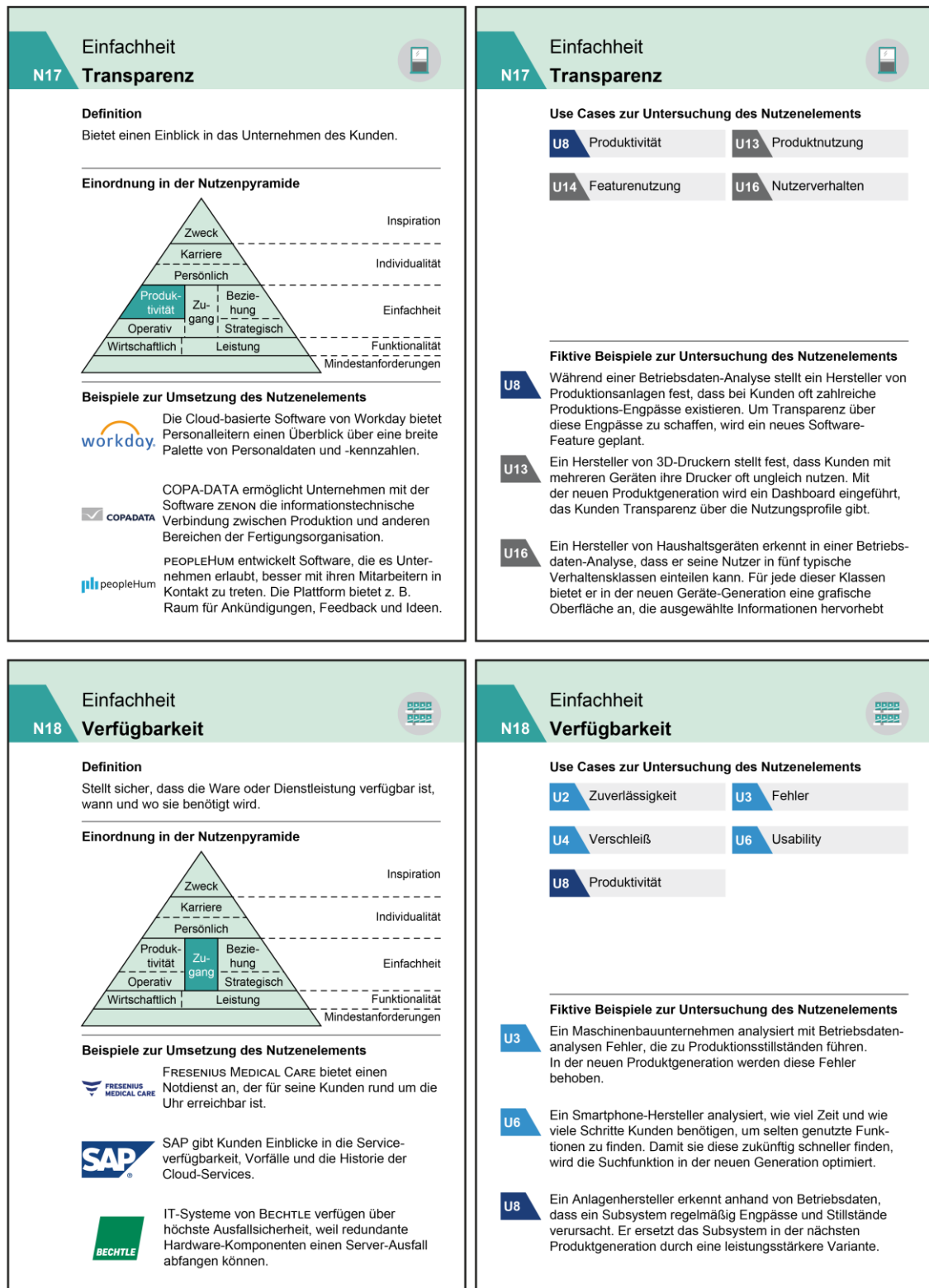
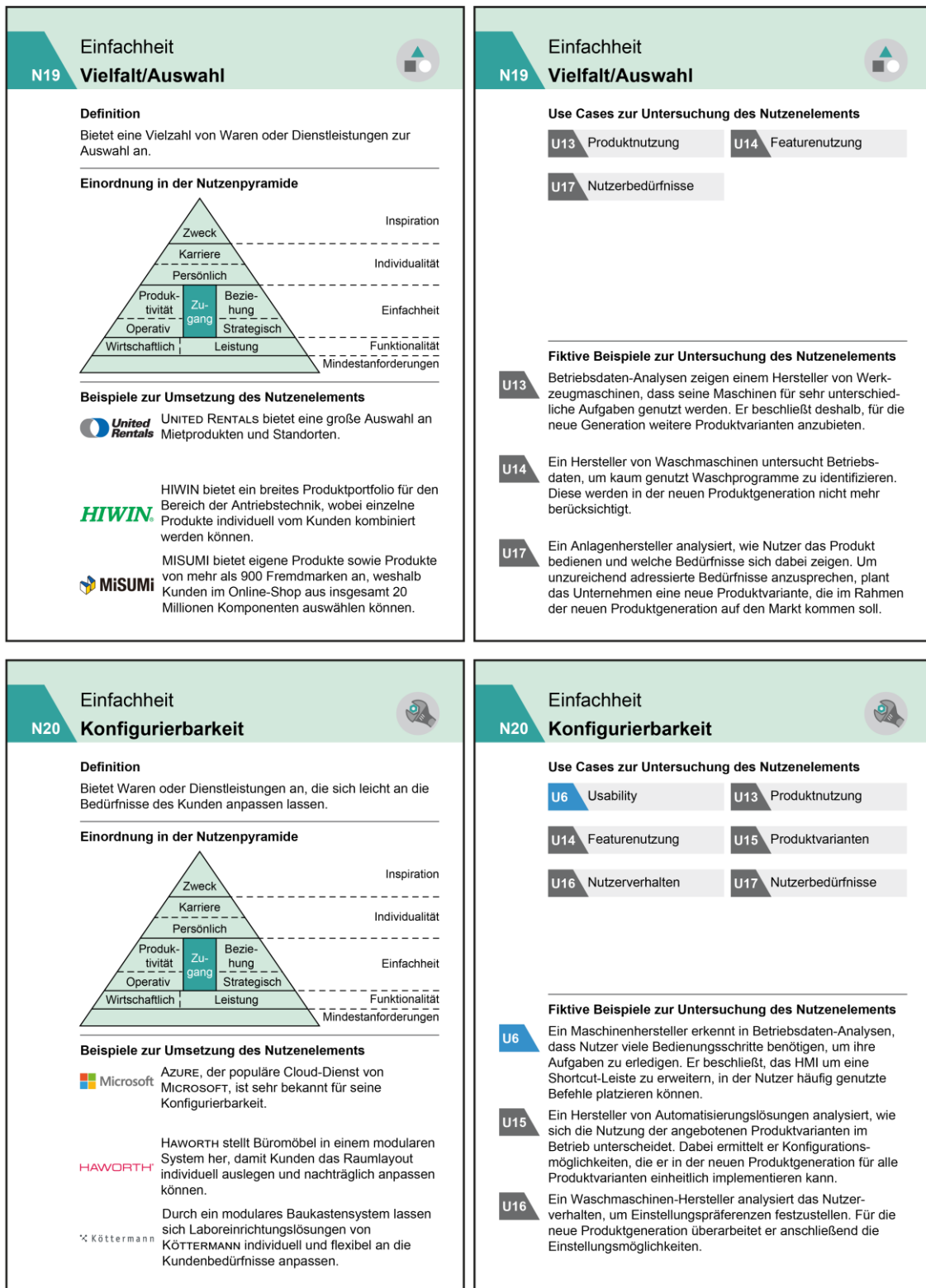


Bild A-21: Nutzelemente-Karten (9/13)



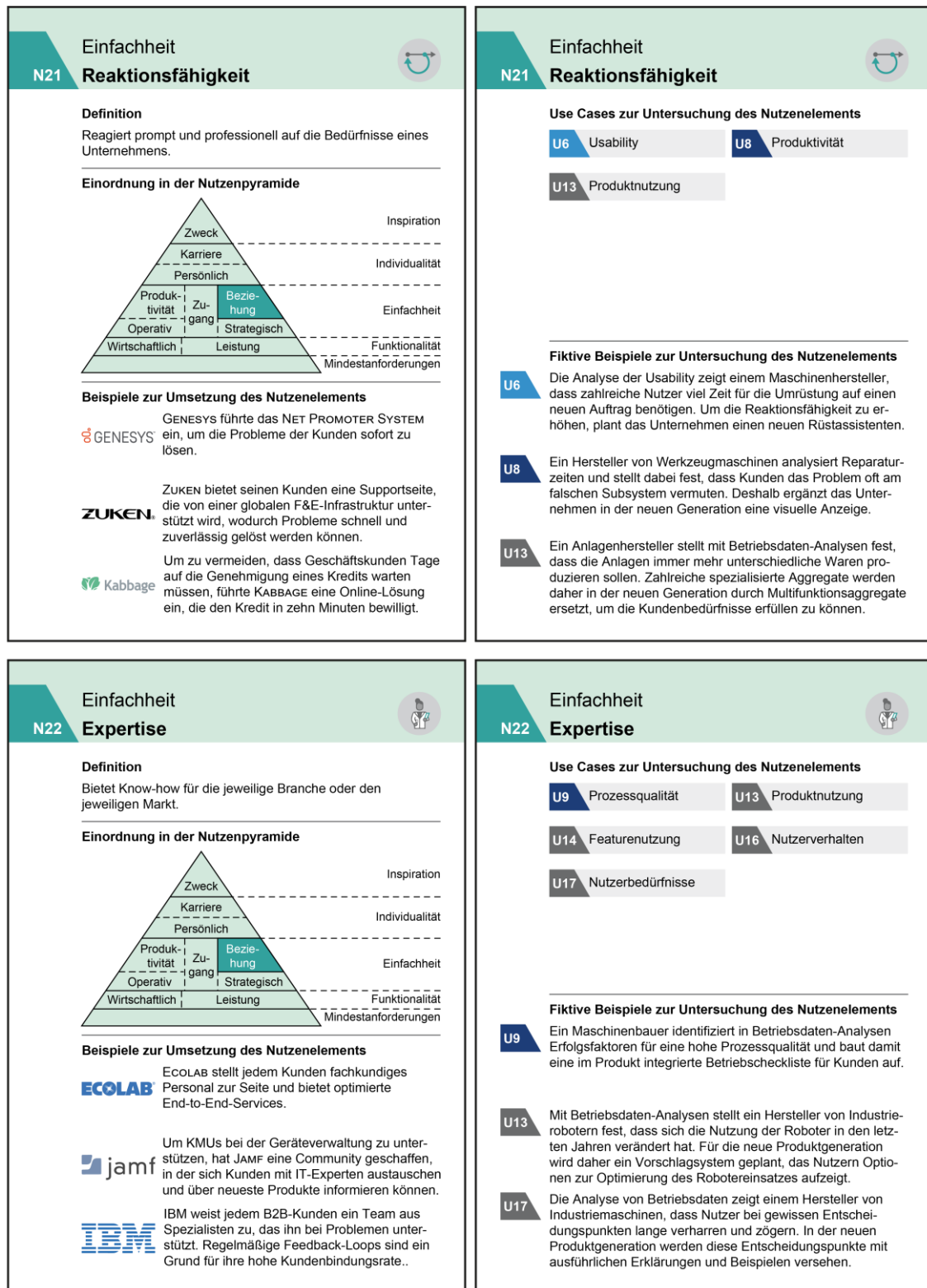


Bild A-23: Nutzelemente-Karten (11/13)

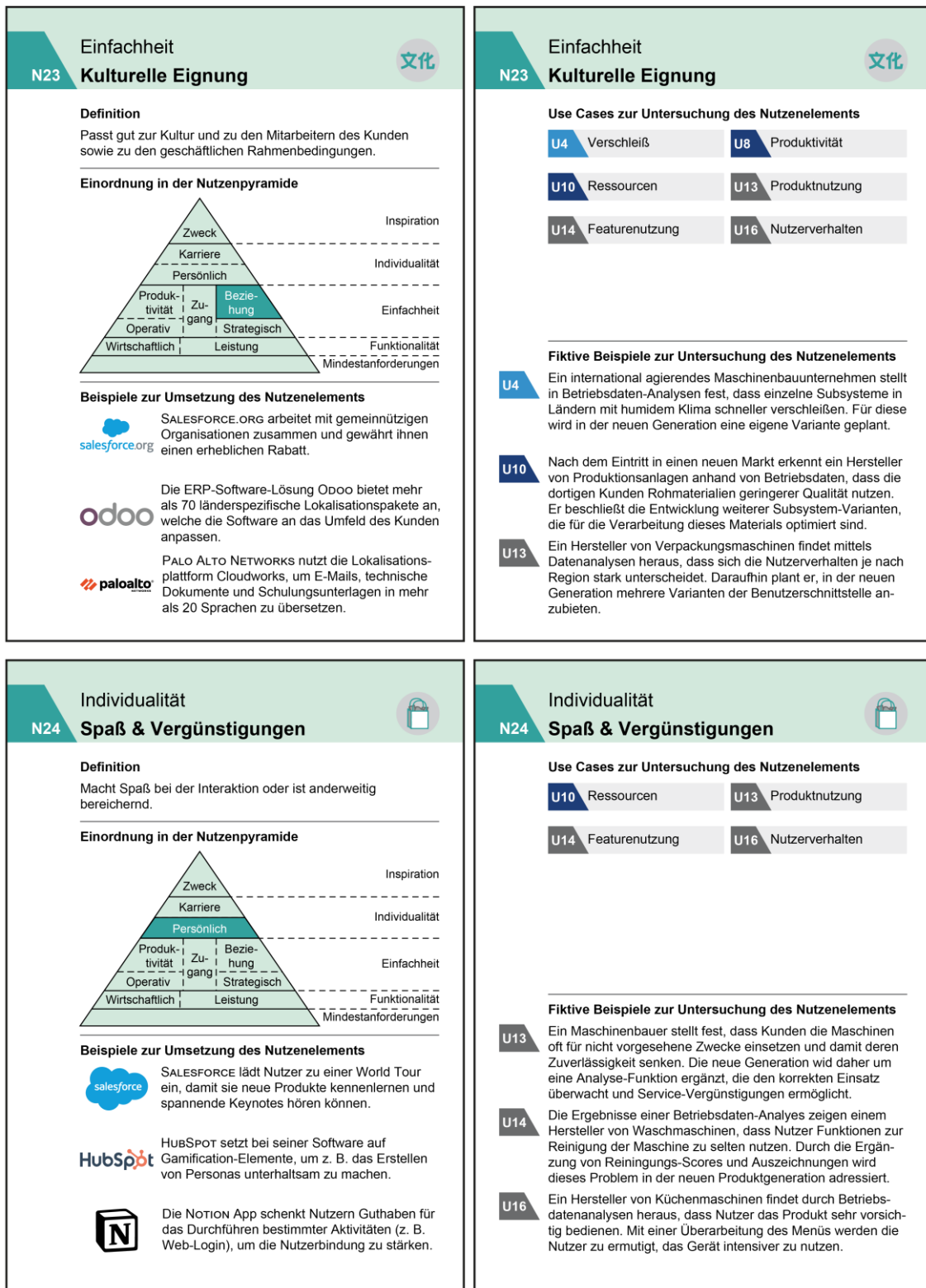


Bild A-24: Nutzelemente-Karten (12/13)

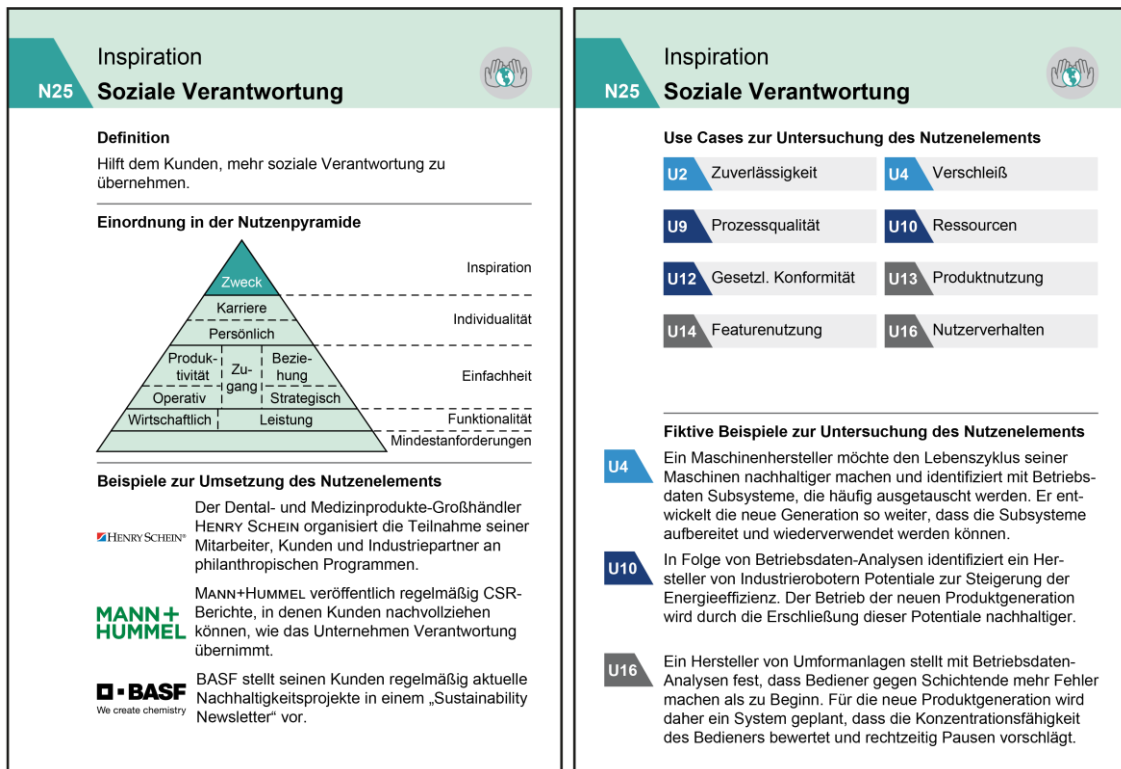


Bild A-25: Nutzelemente-Karten (13/13)

Erklärung zur Zitation von Inhalten aus studentischen Arbeiten

In Ergänzung zu meinem Antrag auf Zulassung zur Promotion in der Fakultät für Maschinenbau der Universität Paderborn erkläre ich gemäß §11 der Promotionsordnung und unter Beachtung der Regelung zur Zitation studentischer Arbeiten:

Die von mir vorgelegte Dissertation habe ich selbstständig verfasst, und ich habe keine anderen als die dort angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt. Es sind keine Inhalte studentischen Ursprungs (studentische Arbeiten) in dieser Dissertation enthalten.

Ich habe die verwendeten Arbeiten entsprechend der Regelung „Zitation aus studentischen Arbeiten in Dissertationen“ zitiert.

Paderborn, im April 2024

Maurice Meyer

Das Heinz Nixdorf Institut – Interdisziplinäres Forschungszentrum für Informatik und Technik

Das Heinz Nixdorf Institut ist ein Forschungszentrum der Universität Paderborn. Es entstand 1987 aus der Initiative und mit Förderung von Heinz Nixdorf. Damit wollte er Ingenieurwissenschaften und Informatik zusammenführen, um wesentliche Impulse für neue Produkte und Dienstleistungen zu erzeugen. Dies schließt auch die Wechselwirkungen mit dem gesellschaftlichen Umfeld ein.

Die Forschungsarbeit orientiert sich an dem Programm „Dynamik, Mobilität, Vernetzung: Eine neue Schule des Entwurfs der technischen Systeme von morgen“. In der Lehre engagiert sich das Heinz Nixdorf Institut in Studiengängen der Informatik, der Ingenieurwissenschaften und der Wirtschaftswissenschaften.

Heute wirken am Heinz Nixdorf Institut acht Professoren mit insgesamt 130 Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern. Pro Jahr promovieren hier etwa 15 Nachwuchswissenschaftlerinnen und Nachwuchswissenschaftler.

Heinz Nixdorf Institute – Interdisciplinary Research Centre for Computer Science and Technology

The Heinz Nixdorf Institute is a research centre within the Paderborn University. It was founded in 1987 initiated and supported by Heinz Nixdorf. By doing so he wanted to create a symbiosis of computer science and engineering in order to provide critical impetus for new products and services. This includes interactions with the social environment.

Our research is aligned with the program “Dynamics, Mobility, Integration: Enroute to the technical systems of tomorrow.” In training and education the Heinz Nixdorf Institute is involved in many programs of study at the Paderborn University. The superior goal in education and training is to communicate competencies that are critical in tomorrow’s economy.

Today eight Professors and 130 researchers work at the Heinz Nixdorf Institute. Per year approximately 15 young researchers receive a doctorate.

Zuletzt erschienene Bände der Verlagsschriftenreihe des Heinz Nixdorf Instituts

- Bd. 395 LUKEI, M.: Systematik zur integrativen Entwicklung von mechatronischen Produkten und deren Prüfmittel. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, Verlagsschriftenreihe des Heinz Nixdorf Instituts, Band 395, Paderborn, 2020 – ISBN 978-3-947647-14-9
- Bd. 396 KOHLSTEDT, A.: Modellbasierte Synthese einer hybriden Kraft-/Positionsregelung für einen Fahrzeugachsprüfstand mit hydraulischem Hexapod. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, Verlagsschriftenreihe des Heinz Nixdorf Instituts, Band 396, Paderborn, 2021 – ISBN 978-3-947647-15-6
- Bd. 397 DREWEL, M.: Systematik zum Einstieg in die Plattformökonomie. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, Verlagsschriftenreihe des Heinz Nixdorf Instituts, Band 397, Paderborn, 2021 – ISBN 978-3-947647-16-3
- Bd. 398 FRANK, M.: Systematik zur Planung des organisationalen Wandels zum Smart Service-Anbieter. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, Verlagsschriftenreihe des Heinz Nixdorf Instituts, Band 398, Paderborn, 2021 – ISBN 978-3-947647-17-0
- Bd. 399 KOLDEWEY, C.: Systematik zur Entwicklung von Smart Service-Strategien im produzierenden Gewerbe. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, Verlagsschriftenreihe des Heinz Nixdorf Instituts, Band 399, Paderborn, 2021 – ISBN 978-3-947647-18-7
- Bd. 400 GAUSEMEIER, J. (Hrsg.): Vorausschau und Technologieplanung. 16. Symposium für Vorausschau und Technologieplanung, Heinz Nixdorf Institut, 2. und 3. Dezember 2021, Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften, Berlin, Verlagsschriftenreihe des Heinz Nixdorf Instituts, Band 400, Paderborn, 2021 – ISBN 978-3-947647-19-4
- Bd. 401 BRETZ, L.: Rahmenwerk zur Planung und Einführung von Systems Engineering und Model-Based Systems Engineering. Dissertation, Fakultät für Elektrotechnik, Informatik und Mathematik, Universität Paderborn, Verlagsschriftenreihe des Heinz Nixdorf Instituts, Band 401, Paderborn, 2021 – ISBN 978-3-947647-20-0
- Bd. 402 WU, L.: Ultrabreitbandige Sampler in SiGe-BiCMOS-Technologie für Analog-Digital-Wandler mit zeitversetzter Abtastung. Dissertation, Fakultät für Elektrotechnik, Informatik und Mathematik, Universität Paderborn, Verlagsschriftenreihe des Heinz Nixdorf Instituts, Band 402, Paderborn, 2021 – ISBN 978-3-947647-21-7
- Bd. 403 HILLEBRAND, M.: Entwicklungssystematik zur Integration von Eigenschaften der Selbstheilung in Intelligente Technische Systeme. Dissertation, Fakultät für Elektrotechnik, Informatik und Mathematik, Universität Paderborn, Verlagsschriftenreihe des Heinz Nixdorf Instituts, Band 403, Paderborn, 2021 – ISBN 978-3-947647-22-4
- Bd. 404 OLMA, S.: Systemtheorie von Hardware-in-the-Loop-Simulationen mit Anwendung auf einem Fahrzeugachsprüfstand mit parallelkinematischem Lastsimulator. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, Verlagsschriftenreihe des Heinz Nixdorf Instituts, Band 404, Paderborn, 2022 – ISBN 978-3-947647-23-1
- Bd. 405 FECHTELPETER, C.: Rahmenwerk zur Gestaltung des Technologietransfers in mittelständisch geprägten Innovationsclustern. Dissertation, Fakultät für Elektrotechnik, Informatik und Mathematik, Universität Paderborn, Verlagsschriftenreihe des Heinz Nixdorf Instituts, Band 405, Paderborn, 2022 – ISBN 978-3-947647-24-8
- Bd. 406 OLEFF, C.: Proaktives Management von Anforderungsänderungen in der Entwicklung komplexer technischer Systeme. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, Verlagsschriftenreihe des Heinz Nixdorf Instituts, Band 406, Paderborn, 2022 – ISBN 978-3-947647-25-5
- Bd. 407 JAVED, A. R.: Mixed-Signal Baseband Circuit Design for High Data Rate Wireless Communication in Bulk CMOS and SiGe BiCMOS Technologies. Dissertation, Fakultät für Elektrotechnik, Informatik und Mathematik, Universität Paderborn, Verlagsschriftenreihe des Heinz Nixdorf Instituts, Band 407, Paderborn, 2022 – ISBN 978-3-947647-26-2

Zuletzt erschienene Bände der Verlagsschriftenreihe des Heinz Nixdorf Instituts

- Bd. 408 DUMITRESCU, R, KOLDEWEY, C.: Daten-gestützte Projektplanung. Fachbuch. Fakultät für Elektrotechnik, Informatik und Mathematik, Universität Paderborn, Verlagsschriftenreihe des Heinz Nixdorf Instituts, Band 408, Paderborn, 2022 – ISBN 978-3-947647-27-9
- Bd. 409 PÖHLER, A.: Automatisierte dezentrale Produktionssteuerung für cyber-physische Produktionssysteme mit digitaler Repräsentation der Beschäftigten. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, Verlagsschriftenreihe des Heinz Nixdorf Instituts, Band 409, Paderborn, 2022 – ISBN 978-3-947647-28-6
- Bd. 410 RÜDDENKLAU, N.: Hardware-in-the-Loop-Simulation von HD-Scheinwerfer-Steuergeräten zur Entwicklung von Lichtfunktionen in virtuellen Nachtfahrten. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, Verlagsschriftenreihe des Heinz Nixdorf Instituts, Band 410, Paderborn, 2023 – ISBN 978-3-947647-29-3
- Bd. 411 BIEMELT, P.: Entwurf und Analyse modell-prädiktiver Regelungsansätze zur Steigerung des Immersionsempfindens in inter-aktiven Fahrsimulationen. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, Verlagsschriftenreihe des Heinz Nixdorf Instituts, Band 411, Paderborn, 2023 – ISBN 978-3-947647-30-9
- Bd. 412 HAAKE, C.-J., MEYER AUF DER HEIDE, F., PLATZNER, M., WACHSMUTH, H., WEHRHEIM, H. (Eds.): On-The-Fly Computing - Individualized IT-Services in dynamic markets, Collaborative Research Centre 901 (2011 - 2023), Verlagsschriftenreihe des Heinz Nixdorf Instituts, Band 412, Paderborn, 2023 – ISBN 978-3-947647-31-6
- Bd. 413 DUMITRESCU, R.; HÖLZLE, K. (Hrsg.): Vorausschau und Technologieplanung. 17. Symposium für Vorausschau und Technologieplanung, Heinz Nixdorf Institut, 14./15. September 2023, Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften, Berlin, Verlagsschriftenreihe des Heinz Nixdorf Instituts, Band 413, Paderborn, 2023 – ISBN 978-3-947647-32-3
- Bd. 414 ABUGHANNAM, S.: Low-power Direct-detection Wake-up Receiver at 2.44 GHz for Wireless Sensor Networks. Dissertation, Fakultät für Elektrotechnik, Informatik und Mathematik, Universität Paderborn, Verlagsschriftenreihe des Heinz Nixdorf Instituts, Band 414, Paderborn, 2024 – ISBN 978-3-947647-33-0
- Bd. 415 REINHOLD, J.: Systematik zur musterba-sierten Transformation von Wertschöp-fungssystemen für Smart Services. Dis-sertation, Fakultät für Maschinenbau, Uni-versität Paderborn, Verlagsschriftenreihe des Heinz Nixdorf Instituts, Band 415, Pa-derborn, 2024 – ISBN 978-3-947647-34-7
- Bd. 416 YANG, X.: Eine Methode zur Unterstüt-zung von Entscheidungen bei der Ent-wicklung modularer Leichtbauprodukte. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, Verlagsschriften-reihe des Heinz Nixdorf Instituts, Band 416, Paderborn, 2024 – ISBN 978-3-947647-35-4
- Bd. 417 GRÄLER, M.: Entwicklung adaptiver Ein-richtassistenzsysteme für Produktions-prozesse. Dissertation, Fakultät für Ma-schinenbau, Universität Paderborn, Ver-lagsschriftenreihe des Heinz Nixdorf Insti-tuts, Band 417, Paderborn, 2024 – ISBN 978-3-947647-36-1
- Bd. 418 RÖSMANN, D.: Menschenzentrierte Mon-tageplanung und -steuerung durch fähig-keitsorientierte Aufgabenzuordnung. Dis-sertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, Verlagsschriften-reihe des Heinz Nixdorf Instituts, Band 418, Paderborn, 2024 – ISBN 978-3-947647-37-8
- Bd. 419 BAHMANIAN, M.: Optoelectronic Phase-Locked Loop, Theory and Implementa-tion. Dissertation, Fakultät für Elektro-technik, Informatik und Mathematik, Universität Paderborn, Verlagsschriften-reihe des Heinz Nixdorf Instituts, Band 419, Paderborn, 2024 – ISBN 978-3-947647-38-5
- Bd. 420 HEIHOFF-SCHWEDE, J.: Spezifikations-technik zur Analyse, Gestaltung und Bewertung von Engineering-IT-Architek-turen. Dissertation, Fakultät für Elektro-technik, Informatik und Mathematik, Universität Paderborn, Verlagsschriften-reihe des Heinz Nixdorf Instituts, Band 420, Paderborn, 2024 – ISBN 978-3-947647-39-2



Die strategische Produktplanung entscheidet maßgeblich über den Erfolg neuer Produktgenerationen. Eine wertvolle Informationsquelle ist dabei die Betriebsphase der Vorgängergenerationen, die z. B. Schwächen des Produkts oder das Nutzerverhalten offenlegt. Bisher kommen verlässliche Daten- und Informationsrückkopplungen jedoch kaum zustande. Ein neuer Lösungsansatz für diese Problemstellung ist die Auswertung von Betriebsdaten cyber-physischer Systeme mit Data-Analytics-Lösungen. Die Planung und Verwertung derartiger Betriebsdaten-Analysen sind jedoch anspruchsvolle Aufgaben.

Ziel der Arbeit ist eine Systematik zur Planung und Verwertung von Betriebsdaten-Analysen in der strategischen Produktplanung. Sie umfasst vier Bestandteile. Der Erste ist ein Referenzmodell für die strategische Planung neuer Produktgenerationen. Dieses überführt die klassische strategische Produktplanung in den Produktgenerations-Kontext. Der Zweite ist ein Referenzprozess für die Betriebsdaten-gestützte Produktplanung. Dieser beschreibt die prozessuale Integration von Betriebsdaten-Analysen in die strategische Produktplanung. Eine Methode zur Planung und eine Methode zur Verwertung von Betriebsdaten-Analysen sind der dritte bzw. vierte Bestandteil. Adressaten der Systematik sind vor allem Produktmanager produzierender Unternehmen, die die strategische Weiterentwicklung eines Produkts verantworten. Die Systematik wurde mit vier Unternehmen angewendet und evaluiert.