

Natalie Marion Elisabeth Peglow

Systematik zur Bewertung von Varianten in der Angebotsphase von Common-Rail Pumpen der automobilen Zulieferindustrie auf Basis des Modells der PGE – Produktgenerationsentwicklung

Systematics for Evaluation of Variants in the Quotation Phase of Common-Rail Pumps of the Automotive Supplier Industry on the Basis on the Model of PGE - Product Generation Engineering

Copyright: IPEK • Institut für Produktentwicklung, 2021
Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
Die Forschungsuniversität in der Helmholtz-Gemeinschaft
Alle Rechte vorbehalten

Druck: Stolzenberger Druck und Werbung GmbH & Co. KG, Leimen
06224-7697915

ISSN 1615-8113

Systematik zur Bewertung von Varianten in der Angebotsphase von Common-Rail Pumpen der automobilen Zulieferindustrie auf Basis des Modells der PGE - Produktgenerationsentwicklung

Zur Erlangung des akademischen Grades einer

Doktorin der Ingenieurwissenschaften (Dr.-Ing.)

von der KIT-Fakultät für Maschinenbau des

Karlsruher Instituts für Technologie (KIT)

genehmigte

Dissertation

von

M.Sc. Natalie Marion Elisabeth Peglow
aus Ludwigsburg

Tag der mündlichen Prüfung: 31.03.2021

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

Korreferent: Prof. Dr.-Ing. Gisela Lanza

Vorwort der Herausgeber (Stand: Juli 2017)

Wissen ist einer der entscheidenden Faktoren in den Volkswirtschaften unserer Zeit. Der Unternehmenserfolg wird mehr denn je davon abhängen, wie schnell ein Unternehmen neues Wissen aufnehmen, zugänglich machen und verwerten kann. Die Aufgabe eines Universitätsinstitutes ist es, hier einen wesentlichen Beitrag zu leisten. In den Forschungsarbeiten wird ständig Wissen generiert. Dieses kann aber nur wirksam und für die Gemeinschaft nutzbar werden, wenn es in geeigneter Form kommuniziert wird. Diese Schriftenreihe dient seit mehr als 20 Jahren als eine Plattform zum Transfer und macht damit das Wissenspotenzial aus aktuellen Forschungsarbeiten am IPEK - Institut für Produktentwicklung Karlsruhe* am Karlsruher Institut für Technologie (KIT) verfügbar. Die Forschung des IPEK ist dabei strukturiert in die Kategorien Systeme, Methoden und Prozesse, um so der Komplexität heutiger Produktentwicklung ganzheitlich gerecht zu werden. Erst die Verknüpfung dieser drei Kategorien ermöglicht die Synthese innovativer Systeme durch Nutzung neuester Methoden und Prozesse. Gleichzeitig werden durch die Systemsynthese die erforschten neuen Methoden und Prozesse validiert und deren Mehrwert für die Praxis abgesichert. Dieses Forschungskonzept prägt nicht nur das IPEK-Leitbild, sondern auch den Charakter dieser Schriftenreihe, da immer alle drei Kategorien und deren Wechselwirkungen berücksichtigt werden. Jeder Band setzt hier individuelle Schwerpunkte und adressiert dabei folgende Forschungsgebiete des IPEK:

- das Entwicklungs- und Innovationsmanagement,
- die Entwicklungs- und Konstruktionsmethodik,
- der Leichtbau von der Ebene des ganzen Systems bis hinunter zur Optimierung des Bauteils,
- die Validierung technischer Systeme auch unter Berücksichtigung der NVH Aspekte (Noise, Vibration, Harshness) mit dem Fokus auf Schwingungen und Akustik an Komponenten und in den Gesamtsystemen sowie deren subjektiver Beurteilung durch den Menschen,
- die Antriebssystemtechnik mit den Schwerpunkten komplette Antriebslösungen für Fahrzeuge und Maschinen,
- das Design, die Tribologie und Erprobung von Kupplungen und Bremsen sowie
- die Gerätetechnik mit dem Schwerpunkt auf Power-Tools.

Die Forschungsberichte stellen Ergebnisse unserer Forschung sowohl anderen Wissenschaftlern als auch den Unternehmen zu Verfügung um damit die Produktentwicklung in allen ihren Facetten mit innovativen Impulsen zu optimieren

Albert Albers und Sven Matthiesen

Vorwort zu Band 135

Obwohl in der Trendforschung so nicht bezeichnet, muss man die Entwicklung weg von den Anbietermärkten, wie sie bis weit in die Achtzigerjahre des vorigen Jahrhunderts global dominierten, hin zu den heutigen global vernetzten Käufermärkten ohne Zweifel aus meiner Sicht als einen Megatrend mit enormen Auswirkungen – sowohl auf unsere Gesellschaft als auch auf die Wirtschaftssysteme – bewerten. Dabei gilt dieser Trend für den Konsumgüter-Markt und den Investitionsgüter-Markt. Im letzteren ist sicher der globale Preiswettbewerb bestimmend, während im Konsumgüter-Markt die unmittelbare Verfügbarkeit vieler alternativer Produktlösungen für die individuellen Kundenbedürfnisse die Entwicklung bestimmt. Gerade in den Konsumgüter-Märkten führt die große Auswahl und die starke Position des Kunden zu einem starken Bedürfnis nach Produktindividualisierung und Produktdifferenzierung bei den anbietenden Unternehmen. Die Kunden fordern die Möglichkeit, sich ihr Produkt gezielt zusammenstellen zu können. Dieses Bedürfnis ist insbesondere im Bereich des globalen Fahrzeugmarktes von großer Bedeutung. Um diesen Trend bedienen zu können und dabei gleichzeitig auch den Aspekt der Wirtschaftlichkeit mit im Auge zu behalten, sind neue entwicklungsmethodische Ansätze notwendig. Die klassischen Baukasten- und Baureihenkonzepte müssen zunehmend weiter ausdifferenziert und variantenreich als System gestaltet werden. Fahrzeuge werden allerdings in Produktionsnetzwerken bestehend aus dem Fahrzeughersteller und seinen Zulieferern entwickelt und produziert. In vielen Bereichen führt der Fahrzeughersteller im Wesentlichen die Montage des Gesamtfahrzeuges auf Basis vieler zugekaufter Teilsystemen aus. Damit entsteht in der Beziehung zwischen Fahrzeughersteller und Zulieferern eine hohe Dynamik. Die Zulieferer müssen für ihre jeweiligen Teilsysteme ebenfalls den Trend zur Produktindividualisierung aufnehmen und entsprechende Entwicklungs- und Produktionsstrategien ableiten. Dabei ist der Aspekt des durch eine Variante entstehenden Einflusses auf das Produktionssystem von entscheidender Bedeutung. Änderungen im Design können zu drastischen Veränderungen in den Produktionsprozessen und den in der Produktion entstehenden Kosten führen. Einer frühzeitigen Bewertung von Varianten kommt daher eine hohe Bedeutung zu. In der Angebotsphase werden die zukünftigen für dieses Teilsystem geltenden wirtschaftlichen und technischen Randbedingungen festgelegt. Genau dieser Thematik hat sich Frau Dr.-Ing. Peglow in ihrer wissenschaftlichen Arbeit gestellt. Sie hat in ihrer Arbeit durch eine Feldstudie in einem Unternehmen exemplarisch den Effekt von Variantenbildung bereits in der Angebotsphase von Common-Rail Pumpen in der automobilen Zulieferindustrie untersucht und auf Basis des Modells der Produktgenerationsentwicklung – PGE nach Albers eine methodische Unterstützung für die Praxis erforscht, diese als Prototyp aufgebaut und in der Praxis erprobt. Die Arbeit leistet so wissenschaftlich einen wichtigen Beitrag zum Ausbau der KaSPro – Karlsruher Schule für Produktentwicklung und ist gleichzeitig durch die praktische Realisation im Unternehmen wertvoll für neue Ansätze zur Gestaltung der Angebotsphase im B2B-Geschäft.

Kurzfassung

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wird die Systematik entwickelt, mit der die Auswirkungen einer Variante auf bereits bestehende Systeme (z.B. Fertigungskonzept) in der Angebotsphase von Common-Rail Pumpen der automobilen Zulieferindustrie bewertet und objektiviert werden können. Auf Basis einer Literaturrecherche wird der Forschungsbedarf an der Bewertungssystematik identifiziert. Der Forschungsbedarf wird mit Hilfe von empirischen Untersuchungen – wie einer Fragebogenstudie (n=363) – bei einem automobilen Zulieferer für Common-Rail Pumpen spezifiziert. Darauf aufbauend werden die Ziele, die Anforderungen und die Randbedingungen der Arbeit abgeleitet.

Um den Forschungsbedarf zu decken, wird die Bewertungssystematik entwickelt. Die Bewertungssystematik umfasst Bewertungsbögen, mit denen Entwicklerteams die Auswirkungen einer angefragten Variante auf die bestehenden technischen Systeme (z.B. Fertigungseinrichtungen) und die Strategien (z.B. Marktstrategie) – vor der Bewertung der Kosten in der Angebotsphase – bewerten können. Die Objektivierung und die Aggregation der Bewertungen erfolgt durch einen Bewertungsalgorithmus. Das Ergebnis des Bewertungsalgorithmus ist ein Faktor, durch den das Potential zur Einführung einer Variante in das Produktportfolio verdeutlicht wird. Der Wissensfluss zwischen den Entwicklerteams (z.B. Entwicklung, Fertigung, Einkauf) sowie die Verantwortlichkeiten der Entwicklerteams werden durch einen modellierten Bewertungsprozess konkretisiert. Mit Hilfe der Bewertungssystematik werden Faktoren identifiziert, die für die Entscheidung in der Angebotsphase maßgebend sind, ob eine Variante angeboten werden soll. Für die Anwendbarkeit in der Praxis wird die Bewertungssystematik als Tool umgesetzt. Zur Entwicklung des Tools werden computergestützte Demonstratoren zur Simulation der Funktionen und zur Visualisierung des Designs herangezogen.

Die Bewertungssystematik und das Tool werden validiert, inwiefern die identifizierten Anforderungen der Arbeit erfüllt sind und somit das Ziel der Arbeit erfüllt ist. In diesem Zusammenhang werden unter anderem eine Fragebogenstudie (n=35) und vier Fallstudien bei dem automobilen Zulieferer implementiert. Im Ausblick werden die zusammengefassten Vorschläge von involvierten Experten zur Verbesserung der Bewertungssystematik und weiterführende Forschungsarbeiten beschrieben.

Abstract

Within the present work, the systematics is developed to evaluate and to objectify the effects of a product variant on already existing systems (e.g. manufacturing concept) in the quotation phase of Common-Rail Pumps within the automotive supplier industry. On the basis of a literature review, research needs for the systematics are identified. The research needs are specified with empirical studies – like a questionnaire study (n=363) – at an automotive supplier for Common-Rail Pumps. Based on that, the aims, the requirements and the boundary conditions of this work are derived.

To meet the research needs, the evaluation systematics is developed. The evaluation systematics includes evaluation sheets. Development teams can use these sheets to evaluate the effects on the existing technical systems (e.g. manufacturing technologies) and the strategies (e.g. market strategy) – before cost evaluation in the quotation phase. With the aid of an evaluation algorithm, the evaluations are objectified and aggregated to one factor. The factor illustrates the potential to introduce a product variant into the product portfolio. The flow of knowledge between the development teams (e.g. development, production, purchase) as well as the responsibilities of the development teams are specified with a modeled evaluation process. By the evaluation systematics, factors are identified which are crucial for the decision in the quotation phase to offer a product variant. For applicability in practice, the evaluation systematics is implemented as a tool. To develop the tool, computer-based demonstrators for simulation the functions and for visualization the desgin are used.

The evaluation systematics and the tool are validated, how the identified requirements for this work are met and thus the aim of this work is met. Referring to this, among other things, a questionnaire study (n=35) and four case studies are implemented at the automotive supplier. The outlook contains the summarized proposals from involved experts to improve the evaluation systematics as well as further research work.

Danksagung

Die Arbeit entstand während meiner Zeit als wissenschaftliche Mitarbeiterin am Institut für Produktentwicklung (IPEK) des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT) in Kooperation mit der Robert Bosch GmbH.

Im Besonderen möchte ich mich bei meinem Doktorvater Herrn Professor Dr.-Ing. Dr. h. c. Albert Albers für das entgegengebrachte Vertrauen bedanken, dass ich als Teil des IPEK-Teams die Forschung der Karlsruher Schule für Produktentwicklung mitgestalten darf. Durch die gemeinsamen wissenschaftlichen Gespräche konnte ich viel von seinen analytischen und strukturierenden Fähigkeiten lernen, von denen ich nachhaltig profitieren werde.

Für die Übernahme des Korreferats bedanke ich mich bei Frau Professor Dr.-Ing. Gisela Lanza und für die Übernahme des Prüfungsvorsitzes bedanke ich mich bei Frau Professor Dr. rer. nat. Britta Nestler.

Ein großer Dank gilt meinem Vorgesetzten bei der Robert Bosch GmbH Dr. Peter Wäschle. Durch die „harte Schule des Herrn Wäschle“ habe ich eine spannende, lehrreiche und zugleich humorvolle Betreuung erleben dürfen.

Mein persönlicher Dank gilt meinem vormaligen Mentor bei der Robert Bosch GmbH Dr. Thomas Merbecks (†2017), der mich zu einer Doktorarbeit motiviert hat. Er hat maßgeblich zu meiner fachlichen und persönlichen Entwicklung beigetragen, indem er mich intensiv gefordert und gefördert hat. Des Weiteren gilt ein Dank meinem Freund und Mannschaftskollegen Andy (†2018), der es leider nicht mehr geschafft hatte seine Doktorarbeit zu schreiben. Beide haben mir gezeigt, dass es sich trotz scheinbar unüberwindbarer Widerstände lohnt, an seinen Träumen festzuhalten.

Außerdem gilt mein Dank den Kollegen der Forschungsgruppe Entwicklungsmethodik und -management am IPEK für die wissenschaftlichen Diskussionen und das ausgelassene Team-Wochenende. Hervorgehoben sei an dieser Stelle mein Oberingenieur Markus Spadinger, durch den die Arbeit auf das angestrebte wissenschaftliche Niveau gebracht wurde. In diesem Zusammenhang gilt Florian Marthaler ebenfalls ein Dank. Zudem möchte ich mich bei Jonas Powelske bedanken, mit dem ich sowohl am IPEK als auch bei der Robert Bosch GmbH gemeinsam die Doktorandenzeit erlebt habe.

Bedanken möchte ich mich besonders bei den Studenten, die zum Gelingen der Arbeit beigetragen haben. Dazu zählen Alessia Ventriglio, Lennart Mansdörfer, Philipp Reichert, Timon Gentzsch und Hesam Omiditabrizi. Zudem möchte ich mich bei allen Mitarbeitern der Robert Bosch GmbH für die fachliche Unterstützung und die tollen Gespräche bedanken. Dieser Dank gilt vor allem Susanne Roos, die durch ihre organisatorische Hilfe und fürsorgliche Art den Arbeitsalltag erleichtert.

Von ganzem Herzen möchte ich mich bei meiner Frau Monique Balle bedanken. Sie bringt durch ihre Gelassenheit Ruhe in mein oftmals energiegeladenes, temperamentvolles und durch sehr ehrgeizige Ziele gekennzeichnetes Leben. Darüber hinaus gilt meinen Eltern Marion und Frank Peglow ein liebes Dankeschön, die meine berufliche Laufbahn mit den Auslandsaufenthalten und meine sportlichen Ambitionen unterstützt haben. Mein größter Dank gilt meiner Oma, die immer ein offenes Ohr für mich hat und mich mit ausreichend Spätzle und Soß' versorgt.

Stuttgart, den 31. März 2021

Natalie Peglow

Für Lupus

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung	iii
Abstract	iii
Abbildungsverzeichnis	xiii
Tabellenverzeichnis	xix
Abkürzungsverzeichnis	xxi
1 Einleitung	1
1.1 Motivation.....	1
1.2 Fokus der Arbeit.....	2
1.3 Aufbau der Arbeit.....	3
2 Grundlagen und Stand der Forschung	5
2.1 Modelle in der Produktentstehung	5
2.1.1 Systeme in der Produktentstehung.....	5
2.1.2 Prozesse in der Produktentstehung	14
2.1.3 Das Modell der PGE - Produktgenerationsentwicklung	29
2.1.4 Erkenntnisse zu den Modellen in der Produktentstehung	36
2.2 Variantenvielfalt in der automobilen Zulieferindustrie	38
2.2.1 Die automobile Zulieferindustrie	38
2.2.2 Bedeutung von Variantenvielfalt in der Produktentstehung	45
2.2.3 Umgang mit Variantenvielfalt in der Produktentstehung	53
2.2.4 Erkenntnisse zur Variantenvielfalt in der automobilen Zulieferindustrie	
61	
2.3 Die Frühe Phase der PGE – Produktgenerationsentwicklung	63
2.3.1 Die Frühe Phase der Produktentwicklung	63
2.3.2 Projektmanagement in der Frühen Phase.....	74
2.3.3 Methoden zur Bewertung in der Frühen Phase	87
2.3.4 Erkenntnisse zur Frühen Phase der PGE -	
Produktgenerationsentwicklung	105
2.4 Fazit zu den Grundlagen und zum Stand der Forschung	108
3 Forschungsprofil der Arbeit	111
3.1 Zielsetzung	111
3.1.1 Forschungsbedarf.....	111
3.1.2 Forschungshypothese	115

3.1.3	Forschungsfragen	115
3.2	Forschungsmethodik	118
3.2.1	Vorgehensweise der Arbeit auf Basis von ASD – Agile Systems Design 118	
3.2.2	Phasen der Arbeit auf Basis der Design Research Methodology	119
3.2.3	Empirische Methoden der Arbeit	122
3.3	Forschungsumgebung.....	128
3.3.1	Robert Bosch GmbH – Powertrain Solutions	129
3.3.2	Die Common-Rail Pumpen CP3 und CP4	130
3.3.3	Involvierte Experten	133
4	Zielsystem der Bewertungssystematik für Common-Rail Pumpen.....	137
4.1	Variantenvielfalt in der Angebotsphase der CP4	137
4.1.1	Angebotsphase und Variantenvielfalt	139
4.1.2	Variantenanfragen in der Angebotsphase	143
4.1.3	Bewertungsmethoden in der Angebotsphase	148
4.1.4	Erkenntnisse zur Variantenvielfalt in der Angebotsphase der CP4	149
4.2	Umgang mit der Variantenvielfalt der CP4	151
4.2.1	Ursachen und Auswirkungen von Variantenvielfalt.....	153
4.2.2	Herausforderungen im Umgang mit Variantenvielfalt	156
4.2.3	Vorschläge im Umgang mit Variantenvielfalt	160
4.2.4	Erkenntnisse zum Umgang mit der Variantenvielfalt der CP4	161
4.3	Bedarf im Umgang mit Variantenvielfalt in der Angebotsphase.....	163
4.3.1	Herausforderungen und Ziele der Bewertungssystematik	165
4.3.2	Ziele, Anforderungen und Randbedingungen der Bewertungssystematik	168
4.3.3	Gültigkeit der Anforderungen für CP	171
4.3.4	Wechselwirkungen innerhalb des Zielsystems der Bewertungssystematik	172
4.4	Fazit zum Zielsystem der Bewertungssystematik für Common-Rail Pumpen ..	174
5	Bewertungssystematik für Common-Rail Pumpen.....	177
5.1	Bewertungsprozess in der Angebotsphase	177
5.1.1	Produktprofil (Teil des initialen Zielsystems) einer Variante	179
5.1.2	Bewertungselemente zur Bewertung von Varianten.....	180
5.1.3	Bewertungsprozess als Teil des SOLL-Prozesses der Angebotsphase	183
5.1.4	Erkenntnisse zum Bewertungsprozess in der Angebotsphase.....	186
5.2	Methode zur Bewertung von Varianten	188
5.2.1	Bewertungshierarchie zur Bewertung von Varianten.....	190
5.2.2	Bewertungsbögen der Bewertungselemente	193

5.2.3	Bewertungsalgorithmus zur Bewertung von Varianten	202
5.2.4	Erkenntnisse zur Methode zur Bewertung von Varianten	213
5.3	Wechselwirkungen innerhalb des Zielsystems von Varianten	215
5.3.1	Direkte Einflussanalyse der Wechselwirkungen	217
5.3.2	Indirekte Einflussanalyse der Wechselwirkungen	232
5.3.3	Vergleich der Vorschläge für Schlüsselfaktoren	239
5.3.4	Erkenntnisse zur Modellierung der Wechselwirkungen	241
5.4	Fazit zur Bewertungssystematik für Common-Rail Pumpen	243
6	Tool SPRYness zur Bewertung von Common-Rail Pumpen	247
6.1	Produktprofil des Tools SPRYness	247
6.1.1	Module des Produktprofils – Bild	249
6.1.2	Module des Produktprofils – Validierung des ... durch	250
6.1.3	Module des Produktprofils – Kunden-, Anwender-, & Anbieternutzen 252	
6.1.4	Erkenntnisse zum Produktprofil des Tools SPRYness	254
6.2	Funktionsdemonstrator des Tools SPRYness	256
6.2.1	Schnittstellen des Funktionsdemonstrators	257
6.2.2	Bewertungsprozess innerhalb des Funktionsdemonstrators	259
6.2.3	Methode zur Bewertung innerhalb des Funktionsdemonstrators	262
6.2.4	Erkenntnisse zum Funktionsdemonstrator des Tools SPRYness	266
6.3	Designdemonstrator des Tools SPRYness	267
6.3.1	Schnittstellen des Designdemonstrators	269
6.3.2	Bewertungsprozess innerhalb des Designdemonstrators	270
6.3.3	Methode zur Bewertung innerhalb des Designdemonstrators	273
6.3.4	Erkenntnisse zum Designdemonstrator des Tools SPRYness	277
6.4	Fazit zum Tool SPRYness zur Bewertung von Common-Rail Pumpen	278
7	Mehrwert durch die Bewertungssystematik und das Tool SPRYness....	281
7.1	Anwendbarkeit der Bewertungssystematik für Varianten der CP4	281
7.1.1	Genauigkeit des Bewertungsalgorithmus	285
7.1.2	Dauer zur Bewertung der Bewertungselemente	287
7.1.3	Verbesserungsvorschläge während der Untersuchung der Anwendbarkeit	289
7.1.4	Erkenntnisse zur Anwendbarkeit der Bewertungssystematik für Varianten der CP4	290
7.2	Übertragbarkeit der Bewertungssystematik für die CP3	291
7.2.1	Übertragbarkeit der Bewertungskriterien	293
7.2.2	Übertragbarkeit des Bewertungsalgorithmus	295

7.2.3	Verbesserungsvorschläge während der Untersuchung der Übertragbarkeit	298
7.2.4	Erkenntnisse zur Übertragbarkeit der Bewertungssystematik für die CP3.....	299
7.3	Zielerreichung durch die Bewertungssystematik und das Tool SPRYness	300
7.3.1	Zielerreichung bezüglich ausgewählter Anforderungen	303
7.3.2	Verbesserungsvorschläge aus der Fragebogenstudie	306
7.3.3	Zielerreichung durch die Bewertungssystematik und das Tool SPRYness 307	
7.3.4	Erkenntnisse zur Beurteilung der Zielerreichung.....	309
7.4	Fazit zum Mehrwert durch die Bewertungssystematik und das Tool SPRYness 311	
8	Zusammenfassung und Ausblick	315
8.1	Zusammenfassung	315
8.2	Ausblick.....	319
	Literaturverzeichnis	XIX
	Glossar.....	XLVII
	Anhang.....	LV
	Fragebogenstudie: Umgang mit Variantenvielfalt der CP4	LV
	Paarweise Vergleiche für die Gewichtungen der CP4	LVI
	Direkte Einzel-Einflussmatrizen der Bewertungselemente	LX
	Anwendung des Funktionsdemonstrators für CP4-Varianten	LXIV
	Paarweise Vergleiche für die Gewichtungen der CP3	LXXIV
	Fragebogenstudie: Evaluation der Bewertungssystematik und des Tools	LXXVII
	Lebenslauf	LXXIX

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1.1:	Forschungsbereiche der Arbeit eingeordnet nach dem Modell von Blessing und Chakrabarti (2009, S. 66)	2
Abbildung 1.2:	Aufbau der Arbeit	4
Abbildung 2.1:	Drei Aspekte des Systembegriffs (Ropohl, 2009, S. 76)	6
Abbildung 2.3:	Das erweiterte ZHIO-Modell (Albers et al., 2011; Albers, Behrendt et al., 2013).....	13
Abbildung 2.4:	Allgemeines Modell der Produktentwicklung (VDI 2221-1, 2018, S. 16)	16
Abbildung 2.5:	Das Stage-Gate System (Cooper, 1990).....	17
Abbildung 2.6:	Vorgehenszyklus (Ehrlenspiel, 2009, S. 89)	18
Abbildung 2.7:	Das Münchner Vorgehensmodell (Lindemann, 2005, S. 40).....	19
Abbildung 2.8:	Das iPeM – integrierte Produktentstehungsmodell (Albers, Reiß, Bursac & Richter, 2016)	21
Abbildung 2.9:	Auswahl des Maßes an Flexibilität durch ASD (Albers, Heimicke, Spadinger et al., 2019).....	29
Abbildung 2.10:	Zulieferstruktur in der Automobilindustrie nach Becker (2014), Erler (2015), Grammel et al. (2000), Kurek (2004)	40
Abbildung 2.11:	Anzahl der Pkw-Neuzulassungen mit Dieselmotor von 1990 bis 2017 (Aral AG, 2007)	44
Abbildung 2.12:	Die Verteilung der Pkw-Antriebstechnologien 2020 und 2030 (Oliver Wyman, 2018)	45
Abbildung 2.13:	Auswirkungen von Variantenvielfalt auf die Wertschöpfungskette (Heina, 1999, S. 24)	51
Abbildung 2.14:	Die Frühe Phase der PGE - Produktgenerationsentwicklung nach Albers, Rapp et al. (2017), Albers, Heitger et al. (2018), Albers, Peglow et al. (2019)	68
Abbildung 2.15:	Angebotsphase von Varianten als spezifische Frühe Phase (Albers, Peglow et al., 2019)	74
Abbildung 2.16:	Darstellungsform Produktprofil (Albers, Heimicke, Walter et al., 2018)	81

Abbildung 2.17:	Handlungsunterstützungssystem – 3 Modellebenen (Jetter, 2005, S. 299)	83
Abbildung 2.18:	Vernetzungsanalyse (Fink et al., 2002, S. 190; Gausemeier & Plass, 2014, S. 51)	84
Abbildung 2.19:	Balanced Scorecard (Kaplan & Norton, 2007)	89
Abbildung 2.20:	Beispiel einer Design Structure Matrix (Browning, 2001)	90
Abbildung 2.21:	Portfolioanalysen nach Cooper et al. (2001), Henderson (1970), Hsuan und Vepsäläinen (1999), McKinsey & Company (2008)	91
Abbildung 2.22:	„Take the Best“ (links) und „Tallying decision“ (rechts) (Albar & Jetter, 2011)	94
Abbildung 2.23:	Risikobewertung mit Hilfe der FMEA (Binz et al., 2017, S. 114)	95
Abbildung 2.24:	Risikomatrizen nach Albers, Rapp et al. (2017), Albers, Rapp et al. (2018), Murray et al. (2011), Werdich (2012b, S. 148)	97
Abbildung 2.25:	Kritikalitätsmatrix (Albers, Klingler et al., 2014)	99
Abbildung 2.26:	Bewertung der technologischen Unsicherheit (Albers, Revfi et al., 2018)	100
Abbildung 2.27:	Struktur der Quality Function Deployment Methode (Karsak et al., 2002)	102
Abbildung 2.28:	Entscheidungsstruktur auf Basis des AHP (links) und des ANP (rechts) (Saaty, 2005)	103
Abbildung 3.1:	Die DRM nach Blessing und Chakrabarti (2009) adaptiert auf die Arbeit	120
Abbildung 3.2:	Das iDSDM nach Marxen (2014) adaptiert auf die Arbeit	122
Abbildung 3.3:	Steckbrief der Forschungsmethode „Interview“ nach Marxen (2014, S. 104)	124
Abbildung 3.4:	Steckbrief der Forschungsmethode „Teilnehmende Beobachtung“ nach Marxen (2014, S. 82)	125
Abbildung 3.5:	Steckbrief der Forschungsmethode „Retrospektives Protokoll“ nach Marxen (2014, S. 87)	125
Abbildung 3.6:	Steckbrief der Forschungsmethode „Inhaltsanalyse“ nach Marxen (2014, S. 94)	126
Abbildung 3.7:	Steckbrief der Forschungsmethode „Fallstudie“ nach Marxen (2014, S. 98)	127

Abbildung 3.8:	Steckbrief der Forschungsmethode „Fragebogen“ nach Marxen (2014, S. 106).....	128
Abbildung 3.9:	Das Common-Rail System der Robert Bosch GmbH (Robert Bosch GmbH, 2019b)	130
Abbildung 3.10:	Die Common-Rail Pumpen der Robert Bosch GmbH (Peglow et al., 2017)	131
Abbildung 3.11:	Die Common-Rail Pumpen CP3 (links) und CP4 (rechts) der Robert Bosch GmbH (Robert Bosch GmbH, 2019b)	132
Abbildung 4.1:	Vorgehen zur Untersuchung der Variantenvielfalt in der Angebotsphase der CP4.....	138
Abbildung 4.2:	Referenzprozess der Angebotsphase der CP4 in Anlehnung an Peglow et al. (2019)	140
Abbildung 4.3:	Expertenaussagen zur Variantenvielfalt in der Angebotsphase der CP4 (Peglow, 2019).....	141
Abbildung 4.4:	Variantenvielfalt der CP4.....	143
Abbildung 4.5:	Variantenanfragen der CP4 von 2012 bis 2016	144
Abbildung 4.6:	Durchgeführte Quality Gates pro Kunde	145
Abbildung 4.7:	Durchgeführte Quality Gates pro Jahr	146
Abbildung 4.8:	Dauer zur Bearbeitung von Variantenanfragen in der Angebotsphase der CP4	147
Abbildung 4.9:	Neuheitsgrade der CP4-Varianten im Jahr 2017.....	149
Abbildung 4.10:	Vorgehen zur Untersuchung des Umgangs mit der Variantenvielfalt der CP4	152
Abbildung 4.11:	Teilnehmer der Fragebogenstudie (n=363)	153
Abbildung 4.12:	Ursachen für Variantenvielfalt der CP4 (Peglow et al., 2017).....	154
Abbildung 4.13:	Formen von Komplexität im Umgang mit Variantenvielfalt der CP4 (Albers, Peglow et al., 2018).....	155
Abbildung 4.14:	Herausforderungen bei der Entscheidung über neue Varianten (Peglow et al., 2019).....	157
Abbildung 4.15:	Berücksichtigung von Fachwissen bei der Entscheidung über die Einführung von Varianten.....	158
Abbildung 4.16:	Transparenz des Bewertungsprozesses in der Angebotsphase der CP4	159

Abbildung 4.17:	Transparenz der Bewertungsmethode in der Angebotsphase der CP4	160
Abbildung 4.18:	Vorschläge im Umgang mit Variantenvielfalt der CP4	161
Abbildung 4.19:	Vorgehen zur Identifikation des Bedarfs im Umgang mit Variantenvielfalt	164
Abbildung 5.1:	Vorgehen zur Entwicklung des Bewertungsprozesses in der Angebotsphase	178
Abbildung 5.2:	Elemente des Produktprofils einer Variante (Peglow et al., 2019) ..	179
Abbildung 5.3:	Bewertungselemente zur Bewertung des Zielsystems einer Variante (Peglow et al., 2019)	181
Abbildung 5.4:	Bewertungsprozess als Teil des SOLL-Prozess der Angebotsphase von Varianten (Peglow et al., 2019).....	184
Abbildung 5.5:	Vorgehen zur Entwicklung der Methode zur Bewertung	189
Abbildung 5.6:	Bewertungshierarchie der Methode zur Bewertung (Albers, Rapp, Peglow et al., 2019)	191
Abbildung 5.7:	Vorgehen zur Modellierung der Wechselwirkungen innerhalb des Zielsystems von Varianten	216
Abbildung 5.8:	Indirekte Analyse basierend auf dem System-Grid (Albers, Peglow et al., 2019)	238
Abbildung 6.1:	Vorgehen zur Erarbeitung des Produktprofils des Tools SPRYness ..	248
Abbildung 6.2:	Schriftzug des Tools SPRYness (Peglow, 2019).....	249
Abbildung 6.3:	Berichtsfluss im Rahmen der Anwendung des Tools SPRYness (Peglow, 2019)	253
Abbildung 6.4:	Vorgehen zur Entwicklung des Funktionsdemonstrators des Tools SPRYness	256
Abbildung 6.5:	Bewertung der Bewertungselemente im Funktionsdemonstrator ..	260
Abbildung 6.6:	Auswahl der variablen Bewertungselemente im Funktionsdemonstrator	261
Abbildung 6.7:	Anzeige des Bewertungsergebnisses im Funktionsdemonstrator....	262
Abbildung 6.8:	Implausible Bewertungen im Funktionsdemonstrator	263
Abbildung 6.9:	Implausible Gewichtungen der Bewertungskriterien im Funktionsdemonstrator	264
Abbildung 6.10:	Implausible Gewichtungen der Bewertungselemente im Funktionsdemonstrator	265

Abbildung 6.11:	Vorgehen zur Modellierung des Designdemonstrators des Tools SPRYness.....	268
Abbildung 6.12:	Auswahl einer standardisierten Berichtsvorlage im Designdemonstrator.....	269
Abbildung 6.13:	Auswahl der nächsten Schritte vor der Bewertung im Designdemonstrator (Peglow, 2019).....	271
Abbildung 6.14:	Auswahl der variablen Bewertungselemente im Designdemonstrator (Peglow, 2019).....	272
Abbildung 6.15:	Auswahl der nächsten Schritte nach der Bewertung im Designdemonstrator (Peglow, 2019).....	273
Abbildung 6.16:	Bewertung der statischen Bewertungselemente im Designdemonstrator (Peglow, 2019).....	274
Abbildung 6.17:	Bewertung der variablen Bewertungselemente im Designdemonstrator (Peglow, 2019).....	275
Abbildung 6.18:	Anzeige des Bewertungsergebnisses im Designdemonstrator (Peglow, 2019).....	276
Abbildung 7.1:	Vorgehen zur Untersuchung der Anwendbarkeit der Bewertungssystematik.....	282
Abbildung 7.2:	Vorgehen zur Untersuchung der Übertragbarkeit der Bewertungssystematik.....	292
Abbildung 7.3:	Vorgehen zur Beurteilung der Zielerreichung durch die Bewertungssystematik und das Tool SPRYness.....	301
Abbildung 7.4:	Teilnehmer der Fragebogenstudie (n=35).....	302
Abbildung 7.5:	Übertragbarkeit der Bewertungssystematik auf weitere Produkte.....	305
Abbildung 7.6:	Bemerkungen und Vorschläge zur Weiterentwicklung der Bewertungssystematik.....	306

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Aktivitäten der Produktentstehung (Albers & Braun, 2011; Albers, Reiß, Bursac & Richter, 2016; Reiß, 2018, S. 139–141).....	22
Tabelle 2:	Wechselwirkungen der Herausforderungen und Trends (Göpfert et al., 2017, S. 37)	42
Tabelle 3:	Herausforderungen bei der Variantenentstehung (Albers, Peglow et al., 2018).....	53
Tabelle 4:	Merkmale und potentielle Risiken der frühen Phase	64
Tabelle 5:	In der Literatur identifizierte Spezifika der frühen Phase (Bursac, 2016)	66
Tabelle 6:	Aktivitäten der Angebotsphase abhängig vom Anwendungsfall oder Industriezweig	71
Tabelle 7:	Elemente der Modellierungstechnik nach Albers, Reiß et al. (2013). 86	
Tabelle 8:	Vergleich der Methoden zur Bewertung für die Angebotsphase	106
Tabelle 9:	Bei dem Forschungsprojekt involvierte Experten	134
Tabelle 10:	Herausforderungen und Ziele für die Bewertungssystematik (Peglow et al., 2019).....	166
Tabelle 11:	Zielsystem der Bewertungssystematik	169
Tabelle 12:	Gültigkeit der Anforderungen an die Bewertungssystematik für CP171	
Tabelle 13:	Wechselwirkungen innerhalb des Zielsystems der Bewertungssystematik	173
Tabelle 14:	Bewertungsbogen des Bewertungselements Produktstrategie	194
Tabelle 15:	Bewertungsbogen des Bewertungselements Produktdesign	196
Tabelle 16:	Bewertungsbogen des Bewertungselements Erprobungskonzept ..	198
Tabelle 17:	Bewertungsbogen des Bewertungselements Fertigungskonzept....	199
Tabelle 18:	Bewertungsbogen des Bewertungselements Beschaffungskonzept	201
Tabelle 19:	Neun-Punkte-Skala nach Saaty (2008) adaptiert auf die Arbeit	206
Tabelle 20:	Paarweiser Vergleich der Bewertungselemente und -kriterien des Experten27	206
Tabelle 21:	Zufallsindex (RI) zur Berechnung des Konsistenzwerts (Saaty, 2008)	208

Tabelle 22:	Gewichtungen und Konsistenzcheck für die Bewertungselemente .210
Tabelle 23:	Gewichtungen und Konsistenzcheck für die Bewertungskriterien...211
Tabelle 24:	Direkte Einzel-Einflussmatrizen des Bewertungselements Beschaffungskonzept219
Tabelle 25:	Direkte Gesamt-Einflussmatrix (Albers, Peglow et al., 2019).....221
Tabelle 26:	Direkte Analyse basierend auf Indikatoren (Albers, Peglow et al., 2019).....224
Tabelle 27:	Direkte Analyse basierend auf dem EEF-Einfluss (EEF-E) (Albers, Peglow et al., 2019)230
Tabelle 28:	Indirekte Gesamt-Einflussmatrix.....233
Tabelle 29:	Indirekte Analyse basierend auf Indikatoren234
Tabelle 30:	Vergleich der Vorschläge für Schlüsselfaktoren (Albers, Peglow et al., 2019).....240
Tabelle 31:	Anforderungen des Tools SPRYness (Omiditabrizi, 2019)251
Tabelle 32:	Anwendernutzen im Rahmen des Produktprofils der Bewertungssystematik (Peglow, 2019)254
Tabelle 33:	Standardisierte Druckvorlage.....258
Tabelle 34:	Kennzeichen und Herausforderungen der ausgewählten CP4- Varianten284
Tabelle 35:	Auswertung der Bewertungen der Bewertungselemente für die CP4- Varianten285
Tabelle 36:	Dauer zur Bewertung mit und ohne Bewertungssystematik für die CP4-Varianten288
Tabelle 37:	Übertragbarkeit der Bewertungskriterien294
Tabelle 38:	Vergleich der Gewichtungen für die Bewertungselemente295
Tabelle 39:	Vergleich der Gewichtungen für die Bewertungskriterien.....297
Tabelle 40:	Zielerreichung bezüglich ausgewählter Anforderungen (n=35)303
Tabelle 41:	Zielerreichung bezüglich den Anforderungen des Zielsystems der Bewertungssystematik.....308

Abkürzungsverzeichnis

A	Aktivsumme
A	betrachte Matrix
AHP	Analytic Hierarchy Process
a_i	Gewichtung des Bewertungselements i
ANP	Analytic Network Process
ASD	Agile Systems Design
BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung
CI	Konsistenzindex
c_{ij}	Gewichtung des Bewertungskriteriums j des Bewertungselements i
CP	Common-Rail Pumpen
CP1	Erste Generation der Common-Rail Pumpen der Robert Bosch GmbH (Nomenklatur der Karlsruher Schule für Produktentwicklung: $G_1^{\text{Bosch, CP}}$)
CP1H	Dritte Generation der Common-Rail Pumpen der Robert Bosch GmbH (Nomenklatur der Karlsruher Schule für Produktentwicklung: $G_3^{\text{Bosch, CP}}$)
CP3	Zweite Generation der Common-Rail Pumpen der Robert Bosch GmbH (Nomenklatur der Karlsruher Schule für Produktentwicklung: $G_2^{\text{Bosch, CP}}$)
CP4	Vierte Generation der Common-Rail Pumpen der Robert Bosch GmbH (Nomenklatur der Karlsruher Schule für Produktentwicklung: $G_4^{\text{Bosch, CP}}$)
CR	Konsistenzwert
DI	Dynamikindex
DRM	Design Research Methodology
e'_{1j}	Bewertung des Bewertungselements $i=1$ mit dem Bewertungskriterium j

EEF	Effect Estimation Factor
EEF-E	Einfluss auf den Effect Estimation Factor
EEF _i	Effect Estimation Factor des Bewertungselements i
e _{ij}	Bewertung des Bewertungselements i (i=2-5) mit dem Bewertungskriterium j
FMEA	Failure Mode and Effects Analysis
FMECA	Failure Mode, Effects and Criticality Analysis
FMEDA	Failure Mode, Effects and Diagnostic Analysis
FTA	Fault Tree Analysis
G _n	aktuell in der Entwicklung befindliche Produktgeneration
G _{n+1}	zukünftige Produktgenerationen
G _{n-1}	Vorgängergenerationen
GV	Gestaltvariation
i	Index für die Bewertungselemente 1-5
iDSDM	Integrated Design Support Development Model
IPEK	Institut für Produktentwicklung
iPeM	Integriertes Produktentstehungsmodell
IT	Informationstechnik
iViP	Integrierte Virtuelle Produktentstehung
j	Index für die Bewertungskriterien 1-6
KIT	Karlsruher Institut für Technologie
LE	Hebelkraft

Lkw	Lastkraftwagen
MAUT	Multi-Attribute Utility Theory
MOFLEPS	Modeling Flexible Product Structures
OEM	Original Equipment Manufacturer
P	Passivsumme
PEP	Produktentstehungsprozess
PFT	Projektrügerschaft Produktion und Fertigungstechnologien
PGE	Produktgenerationsentwicklung
PI	Proaktivitätsindex
Pkw	Personenkraftwagen
PV	Prinzipvariation
QFD	Quality Function Deployment
QG	Quality Gate
r_i	Bewertung des Bewertungselements i mit Hilfe des Bewertungskriteriums $j=6$
RI	Zufallsindex
RPZ	Risikoprioritätszahl
s_i	Standardabweichung des Bewertungselements i
s_{ij}	Standardabweichung des Bewertungskriteriums j des Bewertungselement i
SPRYness	Name des Tools der entwickelten Systematik zur Bewertung von Varianten
SRS	System Requirement Specification

SWOT	Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats
ÜV	Übernahmevariation
V1	Erste Variante der vier ausgewählten CP4-Varianten
V2	Zweite Variante der vier ausgewählten CP4-Varianten
V3	Dritte Variante der vier ausgewählten CP4-Varianten
V4	Vierte Variante der vier ausgewählten CP4-Varianten
VAMOS	Variantenmanagement und -optimierungssystem
VDA	Verband der Automobilindustrie
vgl.v	vergleiche
w	Eigenvektor
x_i	Hilfsvariable des Bewertungselements i
ZHO	Zielsystem, Handlungssystem, Objektsystem
λ_{\max}	Maximaler Eigenwert
IMR	Institut für Mess- und Regelungstechnik
FAST	Fahrzeugsystemtechnik
IAM	Institut für Angewandte Materialien
MK	Meteorologie und Klimaforschung
IMT	Institut für Mikrostrukturtechnik

1 Einleitung

1.1 Motivation

Im Vergleich zu anderen Industriezweigen betrifft der Megatrend *Produktindividualisierung* insbesondere die Automobil- und die automobilen Zulieferindustrie (Göpfert et al., 2017, S. 10). Im Jahr 2011 konnten die Verbraucher weltweit einen Neuwagen aus 376 Fahrzeugmodellen mit 1706 Varianten auswählen. Für 2015 wurden 415 Fahrzeugmodelle¹ prognostiziert. (DerWesten.de, 2011) Bereits 2013 gab es über 500 Fahrzeugmodelle. Dabei hatte Audi 45 Fahrzeugmodelle mit 618 Varianten, BMW 22 Fahrzeugmodelle mit 1295 Varianten und VW 29 Fahrzeugmodelle mit 1255 Varianten auf dem Markt. (MeinAuto GmbH, 2013) Im Jahr 2013 war das Ziel der Audi AG bis 2020 60 Fahrzeugmodelle anzubieten (Handelsblatt, 2013). Durch die große Anzahl an Fahrzeugmodellen mit zunehmender Anzahl an Varianten steigt die Anzahl an Baugruppen und Bauteilen in den Wertschöpfungsprozessen der gesamten Zulieferkette (Krumm et al., 2014). Ein systematischer Umgang mit Variantenvielfalt bietet auch zukünftig große Erfolgspotentiale für automobilen Zulieferer (Göpfert & Braun, 2017, S. 37).

Von der großen Anzahl an Varianten profitieren vor allem die Verbraucher, indem sie ihr Wunschfahrzeug individuell zusammenstellen können. Die steigende Anzahl an Varianten haben jedoch auch Auswirkungen auf die gesamte Wertschöpfungskette (Seram, 2013). Varianten werden oftmals auf einer Fertigungslinie und mit weiteren gemeinsam genutzten Systemen (z.B. Prüfeinrichtungen) hergestellt. Sofern zur Herstellung einer Variante beispielsweise eine zusätzliche Technologie notwendig ist, kann dies negative Auswirkungen auf die Fertigungszeiten weiterer Varianten haben, die auf der gleichen Fertigungslinie hergestellt werden. Aufgrund der oftmals immensen negativen Auswirkungen werden in der Praxis zumeist Strategien zur Vermeidung und zur Reduktion von Varianten fokussiert. Die gezielte Einführung von unvorhergesehenen Varianten bietet jedoch auch erhebliche Potentiale (Kesper, 2012, S. 33). Zum Beispiel kann mit einer kundenindividuellen Variante eine Marktnische getroffen werden. Sofern weitere Kunden Interesse an der Variante haben, ist ein steigendes Absatzvolumen möglich. Durch eine systematische Bewertung der Auswirkungen auf die gemeinsam genutzten Technologien und Strategien

¹ In dieser Arbeit wird ein Produkt, somit auch ein Fahrzeugmodell, als eine Produktgeneration verstanden (vgl. Kap. 2.1.3.3)

kann eine fundierte Grundlage zur Entscheidung geschaffen werden, ob eine angefragte Variante dem Kunden angeboten werden soll.

1.2 Fokus der Arbeit

Mit dem Forschungsprojekt soll eine Systematik zur Bewertung von Varianten in der Angebotsphase der automobilen Zulieferindustrie entwickelt werden. Der Fokus bei der Entwicklung liegt auf drei wesentlichen Forschungsbereichen (Abbildung 1.1).

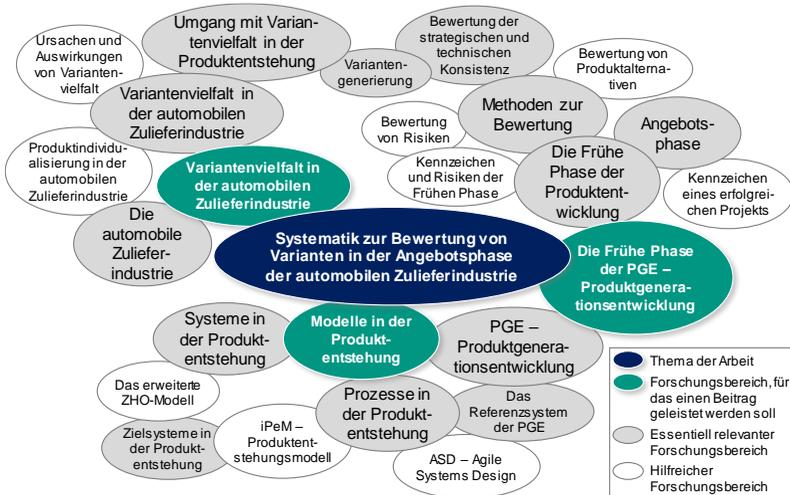


Abbildung 1.1: Forschungsbereiche der Arbeit eingeordnet nach dem Modell von Blessing und Chakrabarti (2009, S. 66)

Die Modelle in der Produktentstehung und insbesondere das Modell der PGE – Produktgenerationsentwicklung mit dem Prozesselement Referenzsystem bilden die Grundlage für die Arbeit. Mit der Bewertungssystematik soll der systematische Umgang mit Variantenvielfalt in der automobilen Zulieferindustrie unterstützt werden. Dies soll durch eine systematische Bewertung von Varianten hinsichtlich der strategischen und technischen Konsistenz mit dem Referenzsystem der Varianten (z.B.

gemeinsam genutzte Fertigungstechnologien) in der Angebotsphase als spezifische *Frühe Phase der PGE – Produktgenerationsentwicklung* realisiert werden.

1.3 Aufbau der Arbeit

In Abbildung 1.2 ist der Aufbau der Arbeit dargestellt. Insgesamt beinhaltet die Arbeit acht Kapitel. Kapitel 1 umfasst die Einleitung mit den drei Unterkapiteln zur Motivation, Fokus der Arbeit und Aufbau der Arbeit. In Kapitel 2 sind die Grundlagen und der Stand der Forschung für die Arbeit erläutert. Basierend auf den Erkenntnissen zum Forschungsbedarf aus der Literatur wurde die Zielsetzung der Arbeit abgeleitet. Die Zielsetzung, die Forschungsmethodik und die Forschungsumgebung der Arbeit sind in den Unterkapiteln des Kapitels 3 zum Forschungsprofil der Arbeit beschrieben. Die wesentlichen Ergebnisse der Arbeit sind in Kapitel 2, Kapitel 4, Kapitel 5, Kapitel 6 und Kapitel 7 zu finden, die jeweils ein Unterkapitel mit einem Fazit zur Zusammenfassung und der kritischen Diskussion der Ergebnisse aufweisen. Die Zielsetzung der Arbeit (Kapitel 3) wurde bei dem automobilen Zulieferer zu dem Zielsystem der Bewertungssystematik weiterentwickelt (Kapitel 4). Dafür wurden die Variantenvielfalt in der Angebotsphase und der Umgang mit Variantenvielfalt untersucht. Die daraus resultierenden Erkenntnisse wurden als Bedarfe im Umgang mit Variantenvielfalt konsolidiert. Auf Basis des Zielsystems der Bewertungssystematik wurde die Bewertungssystematik entwickelt (Kapitel 5). Die Bewertungssystematik umfasst den Bewertungsprozess und die Methode zur Bewertung. Auf Grundlage dessen wurden die Wechselwirkungen innerhalb des Zielsystems von Varianten untersucht. Anschließend wurde die Bewertungssystematik als das Tool SPRYness umgesetzt (Kapitel 6). Das Tool SPRYness wurde mit Hilfe des Produktprofils, des Funktions- und des Designdemonstrators des Tools SPRYness implementiert. Zuletzt wurde untersucht, inwiefern das Zielsystem der Bewertungssystematik durch die entwickelte Bewertungssystematik und durch das Tool hinsichtlich der Anwendbarkeit, Übertragbarkeit und Zielerreichung erfüllt ist. Dieser resultierende Mehrwert durch die Bewertungssystematik und durch das Tool ist in Kapitel 7 beschrieben. In Kapitel 8 sind in zwei Unterkapiteln die Ergebnisse der Arbeit zusammengefasst und auf weiterführende Forschungsarbeiten hingeführt.

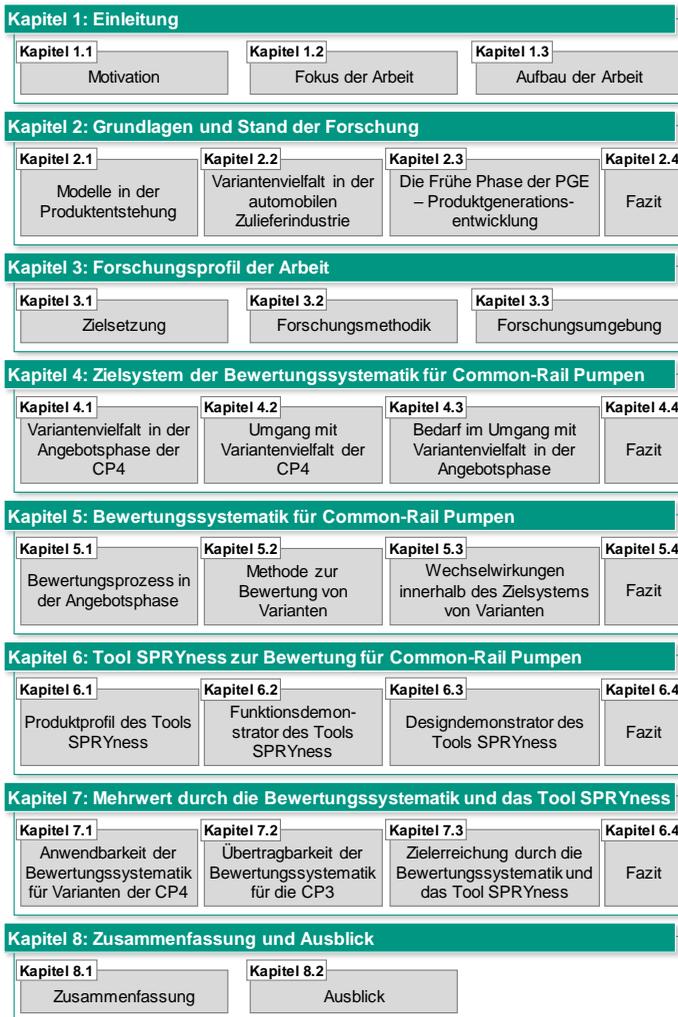


Abbildung 1.2: Aufbau der Arbeit

2 Grundlagen und Stand der Forschung

In Kapitel 2.1 sind die Ergebnisse zur Literaturrecherche hinsichtlich den Modellen in der Produktentstehung und in Kapitel 2.2 sind die Ergebnisse hinsichtlich der Variantenvielfalt insbesondere in der automobilen Zulieferindustrie beschrieben. Der Stand der Forschung zur Frühen Phase der PGE – Produktgenerationsentwicklung inklusive der Angebotsphase von Varianten ist in Kapitel 2.3 zu finden.

2.1 Modelle in der Produktentstehung

Die Systeme in der Produktentstehung sind in Kapitel 2.1.1 und die Prozesse sind in Kapitel 2.1.2 vorgestellt. In Kapitel 2.1.3 ist das Modell der PGE – Produktgenerationsentwicklung erklärt, welches die Grundlage der vorliegenden Arbeit ist.

2.1.1 Systeme in der Produktentstehung

Für ein allgemeines Verständnis wird in Kapitel 2.1.1.1 auf die Begriffe *Modell*, *System* und *System-of-Systems* eingegangen. Darauf aufbauend sind in Kapitel 2.1.1.2 die Systemklassen der Systemtechnik (Ziel-, Handlungs- Objektsystem) nach Ropohl (1975) beschrieben. Die Systemklassen sind die Grundlage des erweiterten ZHO-Modells von Albers et al. (2011), das in Kapitel 2.1.1.3 erläutert ist.

2.1.1.1 Die Begriffe – Modell, System, System-of-Systems

Nach der allgemeinen Modelltheorie von Stachowiak (1973) unterliegt ein *Modell* drei Hauptmerkmalen: Abbildungsmerkmal, Verkürzungsmerkmal, pragmatisches Merkmal. Darauf aufbauend sind Modelle „stets Modelle von etwas, nämlich Abbildungen, Repräsentationen natürlicher oder künstlicher Originale“ (Stachowiak, 1973, S. 131), die „im allgemeinen nicht alle Attribute [des] repräsentierten Originals“ (Stachowiak, 1973, S. 132) umfassen und die für jemanden, für einen bestimmten Zweck sowie für ein bestimmtes Zeitintervall bestehen. Modelle werden in der Praxis unter anderem zur Validierung von Hypothesen, zur Planung von Entscheidungen, zur Veranschaulichung, zur Abstrahierung und zur Vereinfachung von unüberschaubaren Situationen herangezogen. Ziel ist es, durch gewonnene Informationen und durch ein verbessertes Verständnis über das Original dieses in ein hypothetisch verbessertes Original zu überführen. (Stachowiak, 1973, S. 131–133)

Aufgrund der zunehmenden Komplexität in der Produktentstehung spielen Modelle in der Systemtechnik eine bedeutende Rolle. Bei der Zusammenführung mehrerer heterogener Systembestandteile sind deren Kompatibilität zueinander zu prüfen, um unerwünschte Folgen frühzeitig zu eliminieren. Mit Hilfe von Modellen gelingt es, die Systeme, das Systemverhalten und die Wechselwirkungen der Bestandteile untereinander und mit der Umgebung zu formalisieren, zu systematisieren und zu objektivieren. (Ropohl, 1975, S. 77) Ein *System* ist nach der IEEE 610.12-1990, 1990 „Eine strukturierte Sammlung an Komponenten zur Erfüllung einer spezifischen Funktion oder Menge an Funktionen.“ (IEEE 610.12-1990, 1990). Nach Ropohl (1975) sind bei dem Begriff *System* drei Systemaspekte zu berücksichtigen (Abbildung 2.1).

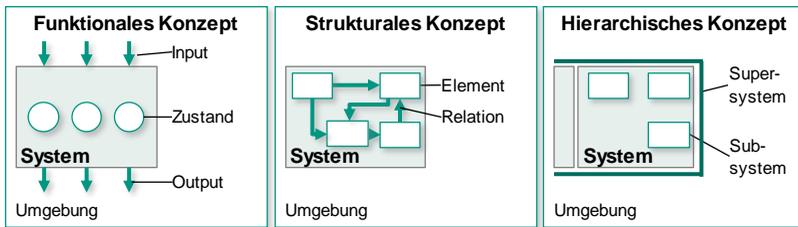


Abbildung 2.1: Drei Aspekte des Systembegriffs (Ropohl, 2009, S. 76)

Der funktionale Aspekt umfasst Attribute des untersuchten Systems unter anderem gegenüber der Umgebung und die Funktionen, die jeweils zwei Attribute in Abhängigkeit voneinander beschreiben. Ein System ist durch von der Umgebung in das System hineingehende Attribute (Input), durch von dem System zur Umgebung hinausgehende Attribute (Output) und durch das System charakterisierende Attribute (Zustände) gekennzeichnet. (Ropohl, 1975, S. 26) Bei dem strukturalen Konzept wird ein System als eine Menge an Elementen verstanden, die durch Relationen miteinander verbunden sind. Dadurch werden die vielfältigen Abhängigkeiten verdeutlicht, weswegen die Elemente im Gesamtzusammenhang mit allen Elementen eines Systems zu betrachten sind. (Ropohl, 2009, S. 75) Das hierarchische Konzept basiert auf einer Systemhierarchie, in der ein System mit korrespondierenden Subsystemen abgebildet ist. Mehrere Systeme können einem Supersystem angehören. Das Supersystem und die Subsysteme können wiederum als Systeme bezeichnet werden. Die Systeme stehen durch eine strukturierte Verknüpfung mit den Systemen der direkt darunterliegenden Hierarchiestufe in Zusammenhang. (Ropohl,

1975, S. 30, 2009, S. 77) Auf Basis der drei Aspekte hat Ropohl (2009, S. 77) den Begriff *System* wie folgt definiert.

System

Ein System ist das Modell einer Ganzheit, die a) Beziehungen zwischen Attributen (Inputs, Outputs, Zustände etc.) aufweist, die b) aus miteinander verknüpften Teilen bzw. Subsystemen besteht, und die c) von ihrer Umgebung bzw. von einem Supersystem abgegrenzt wird.

Für Systeme und die dazugehörigen Subsysteme, die nicht als abhängige Ganzheit eines Systems (Ropohl, 2009) aufgefasst werden können, hat Maier (1998) den Begriff *System-of-Systems* (dt. System aus Systemen) eingeführt. Ein *System-of-Systems* ist eine Menge an Subsystemen, die wiederum als Systeme operativ und betriebswirtschaftlich unabhängig voneinander existieren können. Die Subsysteme können individuell erworben werden und erfüllen innerhalb des Gesamtsystems sowie als alleinstehendes System einen individuellen Zweck. (Maier, 1998) *Systems-of-Systems* erhöhen die Komplexität bei der Entwicklung der Subsysteme und der Integration der Subsysteme zu einem *System-of-Systems*. In diesem Zusammenhang haben Albers, Kurrle et al. (2016) sechs Herausforderungen im Umgang mit komplexen *Systems-of-Systems* identifiziert, die in Abbildung 2.2 nach Albers, Peglow et al. (2018) abgebildet sind. Bei der Zusammenführung von unabhängig voneinander existierenden Subsystemen sind insbesondere klare Schnittstellen zwischen diesen Subsystemen entscheidend, da diese unterschiedliche Funktionen und organisatorische Strukturen aufweisen können. Zu berücksichtigen sind ebenfalls neben divergenten Zielen der Subsysteme und einer möglichen weltweiten Verteilung der Stakeholder bei der Entwicklung und der Integration der Subsysteme, auch der potentiell unterschiedliche Entwicklungsfortschritt im Produktlebenszyklus. Zudem ist davon auszugehen, dass infolge einer kontinuierlichen Weiterentwicklung die Entwicklung eines *System-of-Systems* niemals abgeschlossen und dass aufgrund von heterogenen Subsystemen ein umfängliches Verständnis über das *System-of-Systems* schwer zu realisieren ist. (Albers, Kurrle et al., 2016)



Abbildung 2.2: Herausforderungen eines komplexen System-of-Systems (Albers, Kurrle et al., 2016; Albers, Peglow et al., 2018)

2.1.1.2 Systemklassen der Systemtechnik

Nach Ropohl (1975) zählen zu den wichtigsten Systemklassen der Systemtechnik das Sach-, das Handlungs- und das Zielsystem, die durch die drei Aspekte des Systembegriffs² gekennzeichnet sind (Ropohl, 1975, S. 32–33).

Sachsysteme stehen für technische Objekte wie zum Beispiel technische Produkte, Maschinen und Anlagen (Ropohl, 1975, S. 34–35), die von Personen hergestellt sind und deren Funktionen den Naturgesetzen der Physik, der Chemie und der Biologie unterliegen (Ropohl, 2009, S. 117). Sachsysteme können dabei verschiedene Systemebenen aufweisen (Ropohl, 1975, S. 35). Im Duden ist eine Sache als ein „Gegenstand, um den es geht“ beschrieben (Duden, 2018)³. Ein *Gegenstand* wird in der Regel mit einem physischen Produkt in Verbindung gebracht. Zudem kann es sich bei einem *Diskussionsgegenstand* sowohl um explizites, als auch um implizites Wissen handeln. Albers (2010) definiert das Sachsystem als *Objektsystem*, das materielle und immaterielle Objekte (wie Zeichnungen, Modelle,

² vgl. Kap. 2.1.1.1

³ Suchbegriff: System

Prototypen, Software, Dienstleistungen) in explizierter Form beinhaltet (Albers, 2010). Die Definition nach Albers und Braun (2011) und Ebel (2014, S. 17–18) lautet wie folgt.

Objektsystem

Das Objektsystem enthält alle Dokumente und Artefakte, die als Teillösungen während des Entstehungsprozesses anfallen. Es ist vollständig, sobald der geplante Zielzustand erreicht ist. Das eigentliche Produkt ist neben Zwischenprodukten (z.B. Zeichnungen oder Prototypen) eines der Elemente des Objektsystems. Das Handlungssystem nimmt während des Produktentstehungsprozesses ständig Teile des Objektsystems auf und leitet daraus durch Schritte der Analyse und Synthese neue Ziele ab. Endergebnis eines Produktentstehungsprozesses ist neben dem eigentlichen Produkt auch die Summe aller Zwischenergebnisse im Objektsystem, das vollständige Zielsystem und nicht zuletzt das gesammelte Erfahrungswissen im Handlungssystem aus der Durchführung und Reflexion des Prozesses.

Entwickelte Elemente des Objektsystems gehen in Form materieller Ressourcen und gewonnenes implizites Wissen geht in Form der personellen Ressourcen in das Handlungssystem ein (Meboldt, 2008, S. 184; Ropohl, 1975, S. 33, 2009, S. 98). Das *Handlungssystem* repräsentiert die Subjekte des sozio-technischen Systems, das die Ablaufstruktur mit einer Menge an Aktivitäten und Prozessen sowie die Aufbaustruktur mit einer Menge an Personen und technischen Subsystemen umfasst (Ropohl, 1975, S. 45). Die an der Entwicklung beteiligten Entwicklerteams als Elemente des Handlungssystems übernehmen die Überführung des Zielsystems zu einem Objektsystem. Berücksichtigt werden die technischen (z.B. bereits entwickelte Elemente des Objektsystems), die organisatorischen Strukturen der Organisation (z.B. Entwicklungsprozesse) und die natürlichen, technischen und gesellschaftlichen Randbedingungen (Ropohl, 1975, S. 46, 2009, S. 94). Neben den benötigten Ressourcen sind nach Albers (2010) auch strukturierte Aktivitäten, Methoden und Prozesse Elemente des Handlungssystems (Albers, 2010). Auf Basis der Ausführungen definieren Albers und Braun (2011) und Lohmeyer (2013, S. 24) ein Handlungssystem wie folgt.

Handlungssystem

Das Handlungssystem ist ein sozio-technisches System, das aus strukturierten Aktivitäten, Methoden und Prozessen aufgebaut ist. Es enthält weiterhin alle für die Realisierung einer Produktentstehung notwendigen Ressourcen (Entwickler, Budget, Ausstattung etc.). Das Handlungssystem erstellt sowohl das Ziel- als auch das Objektsystem, beide Systeme sind durch das Handlungssystem miteinander verbunden.

Das *Zielsystem* stellt die Leitlinien des Entwicklungsprozesses dar, wobei das Zielsystem aus einer Zielhierarchie und den Relationen zwischen den Zielen besteht. Relationen verdeutlichen, ob jeweils zwei Ziele unabhängig voneinander existieren, entgegengerichtet sind, sich gegenseitig verstärken oder ob ein Ziel gegenüber einem anderen bevorzugt wird. Die technischen Zielvorgaben können aus der Umgebung und aus dem Handlungssystem resultieren. (Ropohl, 1975, S. 58) Mit dem Zielsystem werden auf Basis der aktuellen Situation die zu realisierenden Anforderungen an eine Lösung definiert, ohne die Lösung zu antizipieren (Albers, 2010). Nach Meboldt (2008) wird das Zielsystem durch den Erkenntnisgewinn im Handlungssystem kontinuierlich spezifiziert, hinsichtlich der Konsistenz überprüft und dementsprechende Maßnahmen zur Anpassung der Elemente des Zielsystems eingeleitet (Meboldt, 2008, S. 158). Lohmeyer (2013) spricht nicht von einer Zielhierarchie, sondern von einer vernetzten Zielstruktur (Lohmeyer, 2013, S. 65). Dies beruht auf den zu berücksichtigenden Wechselwirkungen zwischen den Zielen, den Anforderungen und den Randbedingungen (Albers & Braun, 2011) sowie auf der Dynamik und der Unsicherheit in der Produktentstehung (Albers et al., 2011). Ein Zielsystem ist nach Albers und Braun (2011) und Lohmeyer (2013, S. 65) wie folgt definiert. Das Zielsystem hat aufgrund der kontinuierlichen Spezifizierung ausschließlich für einen bestimmten Zeitpunkt Gültigkeit (Lohmeyer, 2013, S. 65).

Zielsystem

Ein Zielsystem beinhaltet alle expliziten Ziele eines zu entwickelnden Produktes, einschließlich derer Anforderungen, Randbedingungen und Wechselwirkungen zwischen diesen Elementen, innerhalb eines definierten Interessenbereichs (d.h. innerhalb eines System-of-Interest) zu einem bestimmten Zeitpunkt.

In diesem Zusammenhang sind die Ziele, die Anforderungen und die Randbedingungen nach Lohmeyer (2013, S. 61) wie folgt definiert.

Ziel

Ein Ziel ist die bewusste gedankliche Vorwegnahme eines zukünftigen Soll-Zustands, der gemeinsam vereinbart und durch aktives Handeln angestrebt oder vermieden wird. Ziele begründen die Funktion und die Gestalt von Objekten.

Anforderung

Eine Anforderung ist eine durch einen Wert oder einen Wertebereich festgelegte Beschreibung eines einzelnen Produktmerkmals. Eine Anforderung kann ein Ziel nicht ersetzen, sondern lediglich konkretisierend beschreiben.

Randbedingung

Eine Randbedingung ist eine aus dem Umfeld der Entwicklung resultierende Einschränkung, die von anderen verantwortet wird und daher zwar ermittelt, aber nicht eigenständig definiert oder geändert werden kann.

Um die Eigenschaften von Zielen in einer dynamischen, unsicheren und interdisziplinären Entwicklungsumgebung verstehen zu können, haben Albers et al. (2011) vier Zieldimensionen bestimmt. Diese können unter anderem zur Spezifizierung und zur Priorisierung von Zielen herangezogen werden. Der Reifegrad als erste Zieldimension steht für die Vollständigkeit eines beschriebenen Elements des Zielsystems. Diese Zieldimension kann über die Größe der Definitionslücke bestimmt werden. Der Härtegrad als zweite Zieldimension beschreibt die Vertrauenswürdigkeit eines Elements des Zielsystems und somit die Bereitschaft an diesem Element festzuhalten. Am Entwicklungsprozess beteiligte Entwickler können entsprechend ihrer Fähigkeiten und ihrer Autorisierung die Elemente des Zielsystems verändern, wodurch jedes Element ein Potential zur Veränderung aufweist. Dies wird durch die Hebelwirkung als dritte Zieldimension abgebildet. Der Einfluss als vierte Zieldimension verdeutlicht die Folgen von Entscheidungen im Entwicklungsprozess hinsichtlich den Elementen des Zielsystems sowie den Wechselwirkungen. (Albers et al., 2011)

2.1.1.3 Das erweiterte ZHO-Modell

Infolge von Wissenszuwachs und aufgrund der Dynamik im Entwicklungsprozess verändern sich Ziele im Lauf des Produktlebenszyklus. Dabei beeinflussen sich nicht nur die Elemente des Zielsystems untereinander, sondern werden auch von den bereits entwickelten Elementen des Objektsystems beeinflusst. Durch die

Spezifizierung von Zielen kann die Unsicherheit im Entwicklungsprozess reduziert werden. Dadurch kann die Lösungsfindung und die Entwicklung eines technischen Systems zielgerichteter erfolgen. (Albers et al., 2011) Auf Basis der Überlegungen und den zentralen Hypothesen von Albers (2010) haben Albers et al. (2011) das ZHO-Modell (Zielsystem, Handlungssystem, Objektsystem) nach Ropohl (1975) erweitert.

Die zentralen Hypothesen beschreiben unter anderem, dass wegen den spezifischen Anforderungen der Stakeholder jeder Produktentwicklungsprozess einzigartig und individuell ist (Albers, 2010). Zu den Aufgaben des Entwicklerteams zählen nicht nur die Entwicklung der Elemente des Objektsystems und des Zielsystems, sondern auch Aktivitäten zur iterativen Validierung der im Zielsystem getroffenen Annahmen (Lohmeyer, 2013, S. 66). Albers (2010) formuliert die Validierung als eine Kernaktivität der Produktentwicklung, das eine weitere zentrale Hypothese darstellt. Mit der Validierung werden die tatsächlich erreichten Ziele mit den geplanten Zielen systematisch verglichen. (Albers, 2010) In der VDI 2206, 2004 ist der Begriff Validierung definiert als „die Prüfung [...], ob das Produkt für seinen Einsatzzweck geeignet ist bzw. den gewünschten Wert erzielt.“ (VDI 2206, 2004). Nach Albers, Behrendt et al. (2016) kann die Validität eines Systems nur durch alle drei Teilaktivitäten *Bewertung*, *Objektivierung* und *Verifizierung* sichergestellt werden (Albers, Behrendt et al., 2016). Der Begriff *Bewertung* ist für diese Arbeit von zentraler Bedeutung, weswegen auf diesen in Kapitel 2.3.1.2 explizit eingegangen ist. Dem vorweggenommen ist die Definition nach Albers, Behrendt et al. (2016) für die Bewertung als „eine Aktivität zur Untersuchung von Elementen des Objektsystems aus Stakeholder-Sicht. Die Bewertung erfolgt überwiegend subjektiv auf Basis persönlicher Empfindungen (z.B. Fahrdynamik, Effizienz). Eine Analyse erfolgt dabei überwiegend objektiv anhand von Zahlenwerten (z.B. Beschleunigung, Kraftverbrauch).“ (Albers, Matros et al., 2015). Der Begriff *Objektivierung* steht in diesem Zusammenhang für die Überprüfung, „inwieweit Elemente des Zielsystems die Erwartungen der Stakeholder objektiv wiedergeben, andererseits werden Potentiale zur Erhöhung der Objektivität des Zielsystems identifiziert. Je objektiver die Ziele festgeschrieben sind, desto klarer ist die Ausgangslage für die Transformation in Objekte und desto besser können entstandene Objekte in Bezug auf das Zielsystem verifiziert werden. Wichtiger Bestandteil der Objektivierung ist damit die Ermittlung von Zusammenhängen zwischen quantitativen Größen (Analysekriterien) und Empfindungen (Bewertungskriterien) aus Stakeholder-Sicht.“ (Albers, Matros et al., 2015) Nach der VDI 2206, 2004 ist unter dem Begriff *Verifizierung* „die Überprüfung zu verstehen, ob eine Realisierung [...] mit der Spezifikation [...] übereinstimmt“ (VDI 2206, 2004). Albers, Matros et al. (2015) definieren die Verifikation als den „Vergleich von Elementen des Objektsystems mit Elementen des Zielsystems [...], mit dem Ziel, deren Konformität zu beurteilen.“ (Albers, Mandel et al., 2018; Albers, Matros et al., 2015).

Das erweiterte ZHO-Modell (Abbildung 2.3) bezieht den Aspekt der Validierung mit ein, indem die Elemente des Objektsystems analysiert und die Elemente des Zielsystems synthetisiert werden. Die Kreation erfolgt durch die Analyse der Elemente des Zielsystems und der Synthese der Elemente des Objektsystems. (Albers, Behrendt et al., 2013)

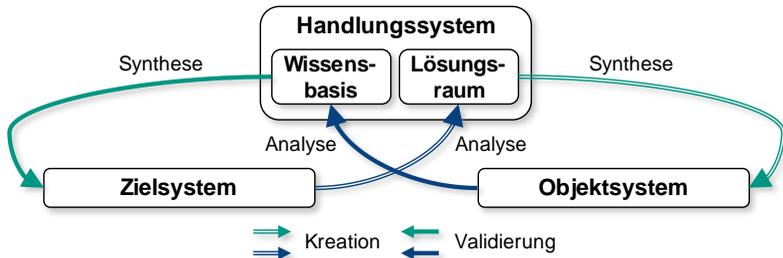


Abbildung 2.3: Das erweiterte ZHO-Modell (Albers et al., 2011; Albers, Behrendt et al., 2013)

Pahl et al. (2005) verstehen unter den Begriffen *Analyse* und *Synthese* „Allgemein wiederkehrende Methoden“ (Pahl et al., 2005, S. 72). Sie beschreiben die Analyse im Allgemeinen als „Informationsgewinnung durch Zerlegen und Aufgliedern sowie durch Untersuchen der Eigenschaften einzelner Elemente und der Zusammenhänge zwischen ihnen. Es geht dabei um Erkennen, Definieren, Strukturieren und Einordnen. Die gewonnenen Informationen werden zu einer Erkenntnis verarbeitet.“ (Pahl et al., 2005, S. 72). Die Synthese beschreiben sie im Allgemeinen als „Informationsverarbeitung durch Bilden von Verbindungen, durch Verknüpfen von Elementen mit insgesamt neuen Wirkungen und das Aufzeigen einer zusammenfassenden Ordnung. Es ist der Vorgang des Suchens und Findens sowie des Zusammensetzens und Kombinierens.“ (Pahl et al., 2005, S. 73). Nach Lohmeyer (2013) sind die Beschreibungen nicht widerspruchsfrei, weswegen er die Begriffe über den grundlegenden Zweck in vereinfachter Form definiert. Analyse stellt „eine Handlung [dar], die das Verstehen eines existierenden Systems bezweckt. Das Resultat einer Analyse ist Erkenntnis.“ (Lohmeyer, 2013, S. 108). Synthese steht für „eine Handlung, die das Erschaffen eines bis dato noch nicht existierenden Systems bezweckt. Das Resultat einer Synthese ist ein Ziel oder ein Objekt.“ (Lohmeyer, 2013, S. 108).

Durch wiederholte, iterative Kreation-Validierungs-Zyklen werden das Ziel- und das Objektsystem wechselseitig entwickelt und die Unsicherheit im Produktentstehungsprozess reduziert. Mit Hilfe der Validierungsaktivitäten werden Wissenslücken reduziert und beruhend auf einem konkretisierten Zielsystem wird die Qualität der Lösungsfindung erhöht. Aufgrund dessen ist das Handlungssystem im erweiterten ZHO-Modell durch die Subsysteme *Wissensbasis* und *Lösungsraum* erweitert. (Albers et al., 2011; Lohmeyer, 2013) Die „Wissensbasis bezeichnet die Menge an Domänenwissen und fallspezifischem [personengebundenem] Wissen, welches innerhalb des Handlungssystems eines bestimmten Produktentstehungsprozesses bereitsteht.“ (Lohmeyer, 2013, S. 174). „Der Lösungsraum entspricht dem subjektiven Verständnis der Menge aller zulässigen Lösungen zu einem Problem und richtet so die mentale, virtuelle und physische Modellierung von Objekten aus.“ (Lohmeyer, 2013, S. 174).

2.1.2 Prozesse in der Produktentstehung

Im Allgemeinen ist in Kapitel 2.1.2.1 eine Auswahl an Prozessmodellen in der Produktentstehung beschrieben. Im Speziellen ist in Kapitel 2.1.2.2 das iPeM – integrierte Produktentstehungsmodell beschrieben, da die vorliegende Arbeit darauf aufbaut. In Kapitel 2.1.2.3 ist separat auf ASD – Agile Systems Design eingegangen, durch welches eine situationsspezifische Auswahl an Prozesselementen und Methoden unterstützt wird (Albers, Heimicke, Hirschter et al., 2018).

2.1.2.1 Prozessmodelle in der Produktentstehung

Die Produktentstehung ist in der VDI 2221-1, 2018 als „Teil des Produktlebenszyklus, der die Phasen Produktplanung, Produktentwicklung und Produktionseinführung umfasst“ (VDI 2221-1, 2018) definiert. Ropohl (2009) versteht die Produktentstehung als sozio-technisches System, bei dem das technische System in Wechselwirkung mit der Natur und der Gesellschaft in Wechselwirkung steht (Ropohl, 2009, S. 120–121). Basierend auf den Überlegungen ist der Mensch als zentrales Systemelement einer jeden Produktentstehung zu sehen (Albers, 2010; Albers, Maul et al., 2013). Nach Albers, Reiß, Bursac und Richter (2016) werden bei der Produktentstehung die Schnittstellen mit dazugehörigen Aktivitäten zwischen der aktuellen Produktgeneration, weiterer Produktgenerationen, des Validierungssystems und des Produktionssystems sowie des Managementsystems berücksichtigt (Albers, Reiß, Bursac & Richter, 2016). Die Produktentwicklung ist ein „interdisziplinärer Unternehmensprozess zur Entwicklung eines marktfähigen Produkts, basierend auf der Definition initialer Ziele und Anforderungen an das Produkt, welche im Lauf des Prozesses kontinuierlich weiterentwickelt und iterativ angepasst

werden“ (VDI 2221-1, 2018). Iterationen können in der Praxis oftmals nicht vermieden werden und stellen keine Ausnahmen dar. Von Iterationen können – abhängig von der Entwicklungssituation – einzelne Phasen oder der gesamte Prozess betroffen sein (Albers, Klingler et al., 2013; VDI 2221-1, 2018). Die daraus resultierenden geänderten Elemente des Zielsystems sind in der Produktentwicklung von elementarer Bedeutung. Diese gehen aus der wechselseitigen Entwicklung des Ziel- und Objektsystems hervor, indem kontinuierlich die Anforderungen und das technische System analysiert, spezifiziert, weiterentwickelt und gegebenenfalls mit den Stakeholdern abgestimmt werden. Bei der Entwicklung können unter Zeitdruck Prozess- und Produktdokumentationen vernachlässigt werden, das ineffiziente Prozesse und somit Nachbesserungen zur Folge haben kann. (Albers, Klingler et al., 2013; VDI 2221-1, 2018; Wynn et al., 2007). Prozessmodelle unterstützen bei der Planung und Steuerung von Prozessen mit Hilfe adäquater Methoden. (Lindemann, 2005, S. 33) Entsprechend des Modellbegriffs⁴ dienen Prozessmodelle der Abstrahierung und der Abbildung von realen Prozessen für einen bestimmten Zweck und in einer kontextspezifischen Darstellungsform (VDI 2221-1, 2018). Bei den traditionellen Prozessmodellen, wie das nachfolgend beschriebene, ursprüngliche Stage-Gate System, liegt der Fokus weniger auf Iterationen (Wynn et al., 2007). Die Idealisierung in Form eines sequentiellen Vorgehens entspricht oftmals nicht den iterativen und parallelisierten Prozessen in der Praxis. Häufig werden Modellierungssprachen mit einem hohen Formalisierungsgrad (z.B. Petrinetze, ereignisgesteuerte Prozessketten) für spezifische Anwendungsfälle eingesetzt. (VDI 2221-1, 2018) Um in der Praxis Anwendung zu finden, müssen Prozessmodelle inklusive eines transparenten Methodeneinsatzes ausreichend detailliert sein, sodass eine interdisziplinäre Zusammenarbeit mit verschiedenen bei der Produktentwicklung involvierten Fachbereiche unterstützt wird (Cooper, 1983; Lindemann, 2005, S. 39). In der Softwareentwicklung wurden bei der Entwicklung von Prozessmodellen Iterationen schon frühzeitig berücksichtigt. Viele dieser Ansätze wurden hinsichtlich der Rahmenbedingungen bei der Produktentwicklung von technischen Systemen adaptiert. Dazu zählt das Spiralmodell, das ein prototypenorientierter Ansatz darstellt. In Form von Spiralen werden Ziele und Produktalternativen in Wiederholzyklen identifiziert, bewertet, ausgewählt und beruhend darauf prototypisiert. (Boehm, 1988) Ein weiteres Beispiel aus der Softwareentwicklung ist das V-Modell, mit welchem wiederkehrende Prozessbausteine (z.B. Systementwurf, Modellbildung- und -analyse, domänenspezifischer Entwurf, Systemintegration) durch eine kontinuierliche Überprüfung auf verschiedenen Modellebenen abgesichert werden (VDI 2206, 2004). Das Münchner Vorgehensmodell ist ein ganzheitlicher Ansatz mit einem geringeren Formalisierungs- und Detaillierungsgrad (VDI 2221-1, 2018). Dieses Modell und der

⁴ vgl. Kap. 2.1.1.1

Vorgehenszyklus nach Ehrlenspiel (2009), sind stellvertretend für iterative Prozessmodelle im Anschluss an das allgemeine Modell der Produktentwicklung und dem Stage-Gate-System beschrieben. Das iPeM - integrierte Produktentstehungsmodell ist ein Prozessmodell mit einem hohen Formalisierungs- und Detaillierungsgrad (VDI 2221-1, 2018), auf das in Kapitel 2.1.2.2 separat eingegangen ist.

In der VDI 2221-1, 2018 ist das **Allgemeine Modell der Produktentwicklung** mit den Zielen, den Aktivitäten, den Phasen und den Ergebnissen einer Produktentwicklung skizziert (Abbildung 2.4). In realen Anwendungsfällen können die Aktivitäten situationsspezifisch im vollen oder reduzierten Umfang einmal oder mehrmals durchgeführt werden. (VDI 2221-1, 2018, S. 17)

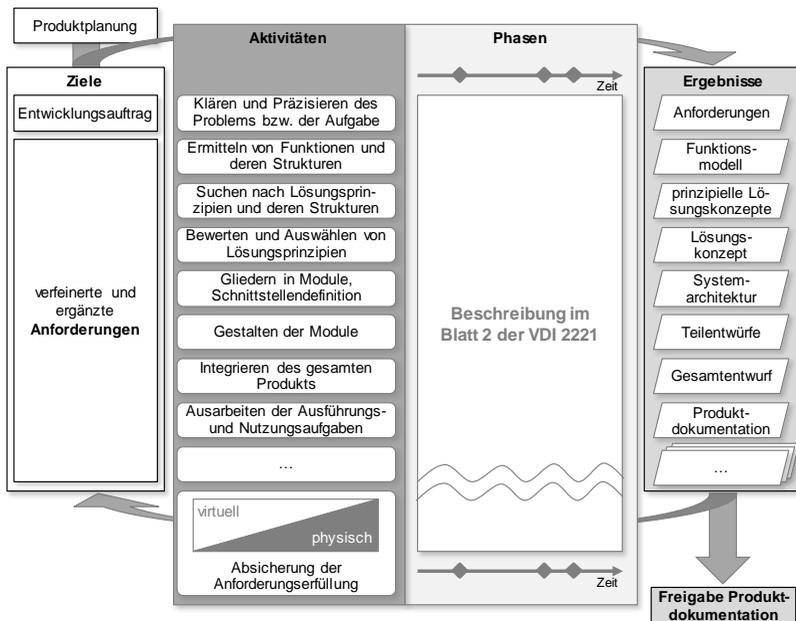


Abbildung 2.4: Allgemeines Modell der Produktentwicklung (VDI 2221-1, 2018, S. 16)

Das **Stage-Gate System** von Cooper (1990) ist die Weiterentwicklung des Stage-Modells, das in seiner ursprünglichen Form sieben Phasen mit Bewertungspunkte zum Abbruch oder zum Fortführen des Prozesses umfasst (Cooper, 1983). Bei dem Stage-Gate System (Abbildung 2.5) ist der Prozess der Produktentwicklung von der Produktidee bis zur Markteinführung in Phasen (engl. stages) mit korrespondierenden Meilensteinen⁵ (engl. gates) unterteilt. Die Meilensteine dienen der Steuerung des Prozesses durch Überprüfung des Projektfortschritts und der zu erbringenden Leistungen mit Hilfe von Bewertungskriterien. (Cooper, 1990) Infolge der zunehmenden Kritik (z.B. oftmals in der Praxis wenig adaptierbar, starke Linearität) hat Cooper (2014) das Modell hinsichtlich der Flexibilität, der Agilität und kürzer werdenden Entwicklungszeiten heutiger Produktentwicklungen angepasst. Durch unter anderem flexible Bewertungskriterien soll der Prozess adaptierbarer und flexibler werden. Zwischen den Meilensteinen sollen durch iterative Prozesse in Form von Spiralen beispielsweise Prototypen entwickelt und Rückmeldungen seitens der Stakeholder frühzeitig integriert werden. Der Prozess soll abhängig von dem eingeschätzten Projektrisiko und des Umfangs des Projekts kontextspezifisch adaptierbar sein. (Cooper, 2014)

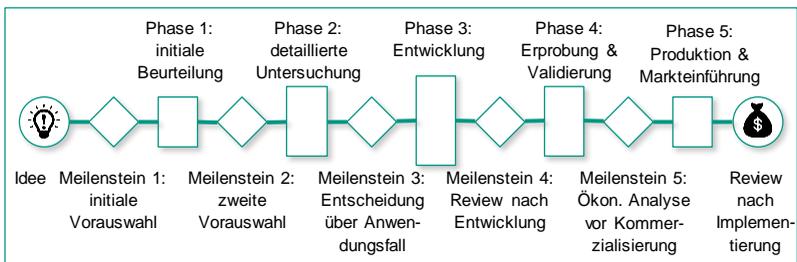


Abbildung 2.5: Das Stage-Gate System (Cooper, 1990)

Der **Vorgehenszyklus** von Ehrlenspiel (2009) (Abbildung 4.6) ist ein Beispiel für ein Handlungssystem, das für die Produkt- und Prozessentwicklung eingesetzt werden kann (Ehrlenspiel, 2009, S. 85).

⁵ sinngemäß für den deutschen Sprachgebrauch übersetzt

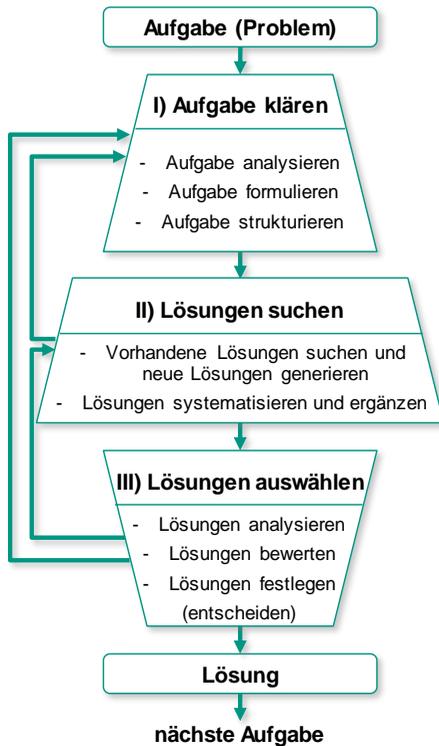


Abbildung 2.6: Vorgehenszyklus (Ehrlenspiel, 2009, S. 89)

Zur Bewältigung einer Problemstellung ist in einem ersten Vorgehensschritt die Aufgabe zu klären und in einem zweiten Vorgehensschritt sind Lösungen zu suchen, indem Informationen gewonnen und somit die Lösungsvielfalt erhöht wird. Bei der Lösungsauswahl als dritten Vorgehensschritt wird die Lösungsvielfalt eingeschränkt bis eine Lösung für die Aufgabenstellung gefunden ist. Alle drei Vorgehensschritte basieren auf Wiederholzyklen, mit denen die Inhalte eines Vorgehensschrittes so lange analysiert und synthetisiert werden, bis ein gewünschter Zielzustand erreicht ist. Zwischen den Vorgehensschritten sind Iterationen möglich, um mit Hilfe eines Lernprozesses und zunehmenden Informationen die Lösungsvielfalt zu steigern. (Ehrlenspiel, 2009, S. 85–100)

Im Vergleich zu den linearen, traditionellen Prozessmodellen weist das **Münchener Vorgehensmodell** eine Netzwerkstruktur auf (Abbildung 2.7). Sieben Elemente sind in Form von überlappenden Kreisen dargestellt, die miteinander verbunden sind. Dies soll die Schwierigkeit hinsichtlich einer eindeutigen Differenzierung zwischen den Elementen in der Praxis verdeutlichen. Die sieben Elemente (Ziel planen, Ziel strukturieren, Ziel analysieren, Lösungsalternativen suchen, Eigenschaften ermitteln, Ziel absichern, Entscheidungen herbeiführen) können abhängig von der Aufgabenstellung und von dem Aufgabenzweck sequentiell oder iterativ durchgeführt werden. Das Vorgehensmodell unterstützt unter anderem bei der Orientierung von Prozessdurchführungen, bei der Planung von Prozessen, bei der Zerlegung von Prozessen in Teilprozesse und bei der Koordination der fachbereichsübergreifenden Zusammenarbeit im Produktentwicklungsprozess. (Lindemann, 2005, S. 39–41)

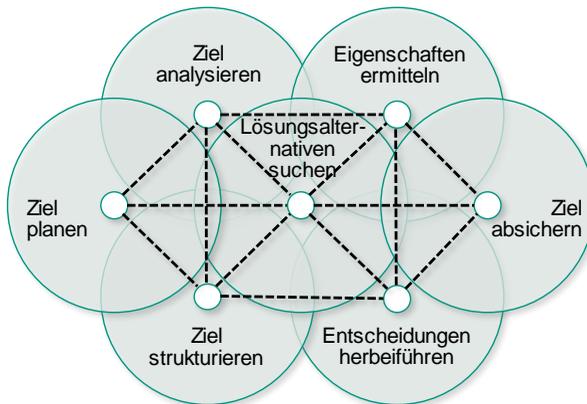


Abbildung 2.7: Das Münchener Vorgehensmodell (Lindemann, 2005, S. 40)

2.1.2.2 Das iPeM – integrierte Produktentstehungsmodell

Das Metamodell iPeM - integrierte Produktentstehungsmodell wurde beruhend auf den zentralen Hypothesen⁶ der Produktentwicklung von Albers (2010) in seiner ursprünglichen Form entwickelt, um durch zur Verfügung gestellte und adaptierbare

⁶ vgl. Kap. 2.1.1.3

Elemente spezifische Produktentwicklungsmodelle in der Anwendung beschreiben zu können. In der ursprünglichen Form des iPeM wird bei der Entwicklung einer aktuell in der Entwicklung befindlichen Produktgeneration (G_n) auf Basis des erweiterten ZHO-Modells⁷ das Zielsystem in das Objektsystem durch das Handlungssystem überführt. (Albers, 2010) Mit dem iPeM können unterschiedliche Prozesse der Produktentwicklung in einem Modell modelliert, strukturiert und zur Steuerung des Entwicklungsprozesses eingesetzt werden, wodurch ein transparenter Überblick über die Ziele, Aktivitäten, Methoden, Ressourcen und Ergebnisse geschaffen wird (Albers & Braun, 2011; Reiß, 2018, S. 136). Das Modell weist ein ausreichendes Maß an Abstraktion auf und unterstützt gleichzeitig den Entwickler bei der situationsspezifischen Methodenauswahl (Reiß, 2018, S. 136).

Aufgrund des Bedarfs an einem Prozessmodell, das unter anderem die Abhängigkeiten zwischen weiteren Produktgenerationen und zwischen verschiedenen Fachbereichen einer Organisation oder eines Projekts (z.B. Entwicklung, Fertigung, Validierung, Management) während der Produktentwicklung berücksichtigt, wurde das iPeM von Albers, Reiß, Bursac und Richter (2016) weiterentwickelt (Abbildung 2.8). Die Struktur des Layers (dt. Ebene) für die Entwicklung der G_n wurde im Wesentlichen beibehalten. Die Erweiterung beinhaltet weitere Layer mit derselben Struktur für weitere Produktgenerationen (G_{n+1}), das Validierungssystem, das Produktionssystem und die Strategie. (Albers, Reiß, Bursac & Richter, 2016; Reiß, 2018, S. 137) Das Handlungssystem jedes Layers ist in weitere Subsysteme unterteilt (Albers, 2010; Albers, Reiß, Bursac & Richter, 2016).

⁷ vgl. Kap. 2.1.1.3

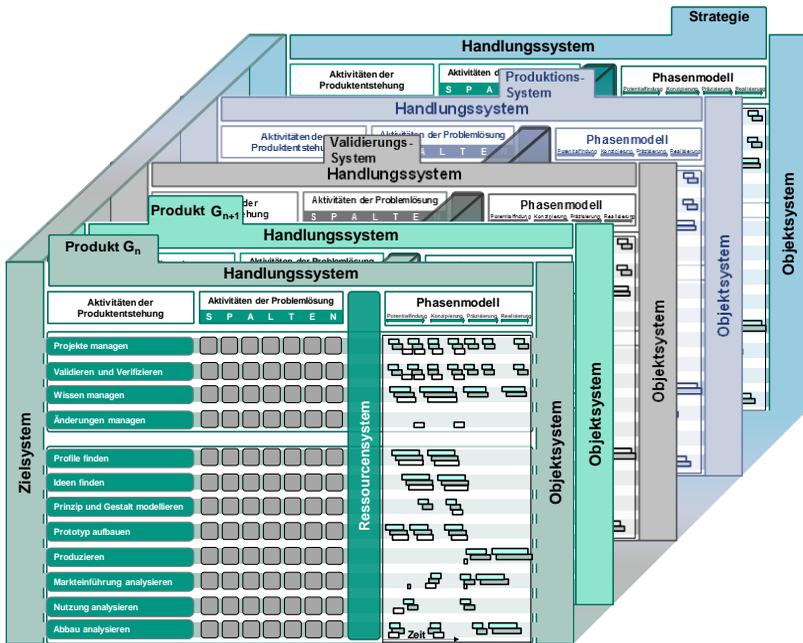


Abbildung 2.8: Das iPeM – integrierte Produktentstehungsmodell (Albers, Reiß, Bursac & Richter, 2016)

Zu den Subsystemen zählen die **Aktivitäten der Produktentstehung** (Tabelle 1), die den Produktlebenszyklus in seinen kleinsten Einheiten abdecken und die generisch für Produktentstehungsprozesse in der Praxis angewendet werden können. (Albers, 2010; Albers & Braun, 2011)

Der Produktentstehungsprozess kann im Allgemeinen als ein Problemlösungssystem mit Subproblemen verstanden werden, wobei die Ziele des Problems im iPeM durch spezifische Aktivitäten abgebildet sind. Die Aktivitäten können während eines Projekts sequentiell und simultan durchgeführt werden. (Albers, 2010) Nach Reiß (2018) ist „Eine Aktivität im Sinne des iPeM [...] eine frei von Iterationen, entlang der unterschiedlichen Phasen des [Produktentstehungsprozesses], in unterschiedlicher Ausprägung wiederkehrende Handlung, welche zur Überführung eines Zielsystems in ein Objektsystem beiträgt.“ (Reiß, 2018, S. 23).

Tabelle 1: Aktivitäten der Produktentstehung (Albers & Braun, 2011; Albers, Reiß, Bursac & Richter, 2016; Reiß, 2018, S. 139–141)

Aktivitäten	Beschreibung
Projekte managen	Planung, Controlling und kontinuierliche Steuerung des Produktentstehungsprozesses
Validieren und Verifizieren	Absicherung der Produkteigenschaften
Wissen managen	Schaffung eines Überblicks über interne und externe Daten, Informationen und Fähigkeiten sowie Identifikation, Erwerb, Entwicklung, Verteilung, Nutzung und Bewahrung von Wissen
Änderungen managen	Abstimmung von technischen, wirtschaftlichen und sozialen Veränderungen sowie frühzeitige Untersuchung von Fehlern/Potentialen und Umsetzung notwendiger Maßnahmen
Profile finden	Definition des Produktprofils
Ideen finden	Identifikation von möglichen ganzheitlichen Lösungen zur Realisierung des Produktprofils
Prinzip und Gestalt modellieren	Explizite Ausarbeitung der Produktidee(n) unter Berücksichtigung technischer und wirtschaftlicher Randbedingungen sowie detaillierte Erarbeitung des physikalischen Zusammenhangs von Funktion und Gestalt
Prototyp aufbauen	Erstellung von physischen und virtuellen Prototypen auf unterschiedlichen Reifegradebenen
Produzieren	Zielgerichtete Kombination von Produktionsfaktoren und deren Transformation in Produkte
Markteinführung analysieren	Vordenken und Analyse der Vermarktung des entwickelten Produkts samt vollständiger Betrachtung der Logistikaktivitäten im Vertriebsnetz
Nutzung analysieren	Betrachtung, Dokumentation und Interpretation des Nutzer- und Nutzungsverhaltens
Abbau analysieren	Antizipation der Möglichkeiten zur Stilllegung oder Recycling nach Ende der Produktlebensdauer

Mit jeder Aktivität der Produktentstehung werden Informationen gesammelt oder generiert, die wiederum zum Gesamtproblem zusammenzuführen sind (Albers, 2010). Albers, Reiß, Bursac und Richter (2016) differenzieren die Aktivitäten der Produktentstehung zwischen Basis- und Kernaktivitäten. Die Basisaktivitäten (Projekte managen, Validieren und Verifizieren, Wissen managen, Änderungen managen) stehen immer in Verbindung mit mindestens einer Kernaktivität und unterstützen diese bei der Verarbeitung der gewonnenen Informationen und bei der Realisierung des Produktentwicklungsprozesses. Im Vergleich dazu tragen die Kernaktivitäten (Profile finden, Ideen finden, Prinzip und Gestalt modellieren, Prototyp aufbauen,

Produzieren, Markteinführung analysieren, Nutzung analysieren, Abbau analysieren) direkt zur Erreichung des nächsten Produktreifegrades bei. (Albers, Reiß, Bursac & Richter, 2016; Reiß, 2018, S. 139)

Ein weiteres Subsystem des Handlungssystems sind die **Aktivitäten der Problemlösung**. Mit Hilfe der SPALTEN-Methodik wird ein Problem in einzelne Aktivitäten unterteilt. Entsprechend der aktuell betrachteten SPALTEN-Aktivität werden dem Entwickler Methoden zur Verfügung gestellt. (Albers, 2010) Mit den sieben Aktivitäten der SPALTEN-Methodik wird ein systematischer Problemlösungszyklus realisiert, der in verschiedenen Phasen der Produktentstehung für geplante und ungeplante Problemstellungen universell einsetzbar ist. (Albers et al., 2005) Wegen des fraktalen Charakters kann die Methodik auf verschiedenen Abstraktionsebenen eines Problemlösungssystems Anwendung finden (Albers et al., 2005; Albers, 2010). Die erste Aktivität von SPALTEN ist die Situationsanalyse zur Sammlung, Strukturierung und Dokumentation aller für das Problem notwendigen Informationen. Die Problemeingrenzung als zweite Aktivität umfasst die Beschreibung des betrachteten Problems und die Spezifizierung der dazugehörigen Informationen. Die alternative Lösungssuche ist die dritte Aktivität, mit der für das Problem verschiedene Lösungen des Lösungsraums identifiziert werden. Die Lösungsauswahl als vierte Aktivität dient dem Vergleich und der Bewertung der Lösungsalternativen. Mit Hilfe der Tragweitenanalyse werden mit der fünften Aktivität die Risiken und die Chancen untersucht. Das Entscheiden und das Umsetzen der selektierten Lösung stellt die sechste Aktivität dar. Die siebte Aktivität ist das Nacharbeiten, um das gewonnene Wissen nachhaltig zu reflektieren und zu dokumentieren. (Albers et al., 2005; Albers, Reiß, Bursac & Breitschuh, 2016) Die Aktivitäten können sequentiell oder bedarfsorientiert durchgeführt werden (Albers et al., 2005).

Die **Aktivitätenmatrix** verknüpft die Aktivitäten der Produktentstehung mit den Aktivitäten der Problemlösung, indem jeder Aktivität der Produktentstehung die Aktivitäten der Problemlösung gegenübergestellt sind. Für jede Gegenüberstellung werden innerhalb des iPeM dem Entwickler Methoden für die spezifischen Entwicklungssituationen vorgeschlagen. (Albers, 2010)

Das **Ressourcensystem** ist ein Subsystem des Handlungssystems, das unter anderem die personellen, maschinellen, finanziellen und informatorischen Ressourcen einer Organisation oder eines Projekts umfasst. Innerhalb des Ressourcensystems wird entschieden, wer welche Aktivität der Produktentstehung und mit welcher Problemlösungsmethode verantwortet, um ein spezifisches Anwendungsmodell zu realisieren. (Albers, 2010)

Das **Phasenmodell** ist das einzige Subsystem des Handlungssystems, mit dem die zeitliche Abhängigkeit der Aktivitäten der Produktentstehung abbildbar sind. Durch die Modellierung der Aktivitäten der Produktentstehung in Abhängigkeit der Zeit werden mögliche Iterationen des Produktentstehungsprozesses und die Einzigartigkeit des Prozesses verdeutlicht. (Albers, 2010; Albers & Braun, 2011) Mit Hilfe von Aktivitätsmustern werden Aktivitäten der Produktentstehung dargestellt, die mit der gleichen Anzahl, Art und Abfolge im Phasenmodell wiederkehrend auftreten (Peglow et al., 2019). Im Phasenmodell werden drei Modelle von Prozessen visualisiert. Das Modell des Referenzprozesses dient zur Abbildung eines auf Erfahrungswissen basierenden, unternehmensspezifischen und generischen Prozesses von zum Beispiel einer Vorgängergeneration. Der geplante Prozess zur initialen Planung von beispielsweise Kosten, Aktivitäten und Ressourcen der neuen Produktgeneration wird mit dem Modell des SOLL-Prozesses dargestellt. Das Modell des IST-Prozesses ist der Prozess eines spezifischen Projekts. Der SOLL-Prozess kann nach Abschluss eines Projekts hinsichtlich der Plausibilität überprüft werden. Identifizierte Abweichungen zwischen dem SOLL- und dem IST-Prozess können bei einer Anpassung des Referenzprozesses für Folgeprojekte berücksichtigt werden. (Albers, 2010; Wilmsen et al., 2019)

Jeder Layer des iPeM umfasst ein individuelles Handlungssystem und ein Objektsystem. Das Objektsystem des Validierungssystems enthält alle Elemente (z.B. Prüfstand), die für Validierungszwecke entwickelt werden. Zu dem Objektsystem des Produktionssystems gehören alle Elemente (z.B. Maschinen), die zur späteren Herstellung eines Produkts entwickelt werden. Das Objektsystem der Strategie inkludiert beispielsweise die Produktportfolio-, die Varianten- und die Marktstrategie aus strategischer Managementperspektive. Die Layer des iPeM sind durch ein gemeinsames Zielsystem und ein durchgängiges Ressourcensystem verknüpft, sodass die Ziele der Organisation miteinander vernetzt und die Ressourcen zielgerichtet verteilt werden sowie das Wissen in allen Layern zur Verfügung gestellt wird. (Albers, Reiß, Bursac & Richter, 2016; Reiß, 2018, S. 138)

2.1.2.3 ASD – Agile Systems Design

Cooper (2016) befürwortet die Definition von weitgefassten Phasen und Meilensteinen zur Planung des Entwicklungsprozesses auf Managementebene, um einen langfristigen Überblick über die Entwicklung zu erhalten (Cooper, 2016). In der Praxis unterliegt der Prozess einer hohen Dynamik, Unsicherheiten und somit unvorhersehbaren Iterationen (Albers, Heimicke, Hirschter et al., 2018), in denen das Zielsystem kontinuierlich durch neue und geänderte Anforderungen spezifiziert und validiert wird (Albers, Behrendt et al., 2017). Wird der Entwicklungsprozess von Beginn an bis ins Detail geplant, können immense Herausforderungen bei einer spä-

teren Anpassung des Zielsystems auftreten und die Entwicklungszeit negativ beeinflussen (Albers, Bursac et al., 2018; Cooper, 2016). Aufgrund dessen stoßen traditionelle Prozessmodelle⁸ bei der kurzfristigen Planung an ihre Grenzen und agile Prozessmodelle gewinnen an Bedeutung (Cooper, 2016).

Agile Prozessmodelle stammen ursprünglich aus der Softwarebranche, um auf volatile Anforderungen zielgerichtet reagieren zu können (Cooper, 2016). Conforto et al. (2016) beschreiben Agilität⁹ als die Fähigkeit des Projektteams zur schnellen Änderung des Projektplans als Antwort auf die Bedürfnisse der Kunden und der Stakeholder beziehungsweise auf den Markt- und Technologiebedarf, um einen höheren Projekt- und Produkterfolg in einem innovativen und dynamischen Projektumfeld zu erzielen (Conforto et al., 2016). Die wesentlichen Merkmale von agilen Prozessen sind die Schnelligkeit Änderungen zu identifizieren und darüber zu entscheiden sowie die Geschwindigkeit die selektierten Änderungen bei der Entwicklung in einer geplanten Zeit zu berücksichtigen (Conforto et al., 2016; Rebentisch, E. Conforto, E. C. et al., 2018; Schmidt & Paetzold, 2016). In der Regel wird dies realisiert durch frühzeitige Rückmeldungen über Entwicklungsergebnisse, die in kurzen Entwicklungszyklen (in der Regel zwei bis 4 Wochen) validiert, kommuniziert und gegebenenfalls freigegeben oder in weitere Iterationen gegeben werden (Cooper, 2016; Karlström & Runeson, 2005). Der Reifegrad eines Produkts oder der Subsysteme wird durch die Entwicklung von zum Beispiel inkrementellen Prototypen während den Entwicklungszyklen stetig erhöht (Albers, Bursac et al., 2018). Mit der hohen Frequenz an Zyklen, die in der Literatur auch als Sprints bekannt sind, können geänderte und validierte Anforderungen zeitnah in das Zielsystem aufgenommen werden. Durch eine verbesserte Kommunikation kann die Transparenz im Entwicklungsprozess erhöht und der Projektfortschritt gesteuert werden. (Cooper, 2016; Karlström & Runeson, 2005)

Zu den bekannten Ansätzen, die mit einer agilen Produktentwicklung kombiniert werden können, zählt beispielsweise Design Thinking. Bei dem Ansatz liegt der Fokus auf dem mentalen, symbolbasierten Prozess zur Inspiration, zur Ideengenerierung und zur Implementierung von generierten, entwickelten und abgesicherten Ideen (Brown & Wyatt, 2010; Meinel & Leifer, 2015). Ein weiteres Beispiel ist das Human Centered Design mit der Fokussierung auf humanitäre Bedürfnisse während des Entwicklungsprozesses, indem mit Hilfe einer interdisziplinären Zusammenarbeit und der Einbindung der Kunden das erwünschte Verständnis über das betrachtete technische System erhöht, das Produkt- und Prozesswissen nützlich und anwendbar gemacht wird (Zhong & Dong, 2009). Scrum ist eine agile

⁸ vgl. Kap. 2.1.2.1

⁹ Definition zu Agilität ist sinngemäß übersetzt

Projektmanagementmethode, die ein Rahmenwerk zur Organisation und zur Koordination von mehreren, kleinen, flexiblen Teams sowie zur Planung, zur Steuerung und zur Nachverfolgung von Projektergebnissen darstellt (Schwaber & Sutherland, 2017). Speziell für die Mechatroniksystementwicklung wurde ASD – Agile Systems Design konzipiert. Agilität wird in diesem Zusammenhang von Albers, Heimicke und Spadinger (2019) verstanden als „die Fähigkeit eines Handlungssystems, die Gültigkeit eines Projektplans hinsichtlich der Planungsstabilität der Elemente im ZHO-Triple kontinuierlich zu überprüfen, zu hinterfragen und bei Vorliegen einer ungeplanten Informationskonstellation eine situations- und bedarfsgerechte Anpassung der Sequenz aus Synthese- und Analyseaktivitäten umzusetzen, wodurch der Kunden-, Anwender- und Anbieternutzen zielgerichtet erhöht werden.“ (Albers, Heimicke & Spadinger, 2019). ASD – Agile Systems Design bezieht sich auf eine ganzheitliche Berücksichtigung des Produkts, des Validierungssystems, des Produktionssystems und der Produktstrategie bei der Produktentwicklung mit ein (Albers, Bursac et al., 2018). Die Aktivitäten der Produktentstehung¹⁰ können durch ASD iterativ und simultan geplant und durchgeführt werden (Albers, Reiß, Bursac & Richter, 2016). Zum anderen stellt der Ansatz eine Struktur zur agilen Produktentwicklung zur Verfügung, indem strukturgebende und flexible Elemente mit entsprechenden Methoden und Prozessen situations- und bedarfsgerecht adaptiert werden können (Albers, Heimicke, Hirschter et al., 2018). ASD unterliegt einem Metaprozess mit sechs generischen Phasen, in denen entsprechend der Entwicklungssituation Methoden vorgeschlagen werden: Analyse, Potentialfindung, Konzeption, Spezifikation, Realisierung, Freigabe. Während den Phasen werden Produktprofile systematisch unter Berücksichtigung des Referenzsystems der PGE – Produktgenerationsentwicklung¹¹ identifiziert und die dazugehörigen Reifegrade erhöht. (Heimicke et al., 2018). Dem Metaprozess liegen neun Prinzipien zugrunde, die für die Produktentwickler als Leitlinien im Produktentstehungsprozess dienen (Albers, Heimicke, Spadinger et al., 2019):

- Der Mensch steht im Zentrum der Produktentwicklung: Die angewendeten Methoden und Prozesse müssen unter anderem an den Bedürfnissen und Fähigkeiten des Entwicklers ausgerichtet sein. (Albers, Heimicke, Hirschter et al., 2018; Albers, Heimicke, Spadinger et al., 2019)
- Jeder Produktentstehungsprozess ist einzigartig und individuell: Methoden und Prozesse können zwar standardmäßig definiert sein, sind aber abhängig von den projektspezifischen Zielsystemen individuell ausgeprägt. (Albers, 2010; Albers, Heimicke, Spadinger et al., 2019)

¹⁰ vgl. Kap. 2.1.2.2

¹¹ vgl. Kap. 2.1.3

- Agile, situations- und bedarfsgerechte Kombination strukturierender und flexibler Elemente: Strukturierende Elemente dienen der Orientierung und der Fokussierung von festgelegten Entwicklungszielen. Flexible Elemente unterstützen bei der reaktionsfähigen Anpassung der Zielsysteme bei Änderungen. (Albers, Heimicke, Hirschter et al., 2018; Albers, Heimicke, Spadinger et al., 2019)
- Jedes Prozesselement lässt sich im ZHO-Modell verorten und jede Aktivität basiert auf den Grundoperatoren Analyse und Synthese: Die Prozesselemente (z.B. Ziele, Randbedingungen, Methoden) können während den iterativen Analyse- und Syntheseaktivitäten zu einem bestimmten Zeitpunkt eindeutig dem Ziel-, Handlungs- oder Objektsystem zugeordnet werden. Mit der Kenntnis über die Zuordnung wird unter anderem der Wissensaufbau und die Entwicklung von Prototypen zielgerichtet unterstützt. (Albers, Heimicke, Spadinger et al., 2019)
- Alle Aktivitäten der Produktentwicklung sind als Problemlösungsprozess zu verstehen: Jede Aktivität der Produktentstehung¹² dient der systematischen Überführung eines IST- in einen definierten SOLL-Zustand mit Hilfe von geeigneten Entwicklungsmethoden. (Albers, Heimicke, Hirschter et al., 2018; Albers, Heimicke, Spadinger et al., 2019)
- Jedes Produkt wird auf Basis von Referenzen entwickelt: Beruhend auf der PGE – Produktgenerationsentwicklung liegt jeder Produktentwicklung ein Referenzsystem¹³ zugrunde. (Albers, Heimicke, Hirschter et al., 2018; Albers, Heimicke, Spadinger et al., 2019)
- Produktprofile, Invention und Markteinführung bilden die notwendigen Bestandteile des Innovationsprozesses: Der Produkterfolg zeichnet sich durch eine fundierte Identifikation des Kunden- Anwender- und Anbieternutzens sowie durch eine erfolgreiche Markteinführung von generierten technischen Lösung aus¹⁴. (Albers, Heimicke, Hirschter et al., 2018; Albers, Heimicke, Spadinger et al., 2019)
- Frühe und kontinuierliche Validierung dient dem kontinuierlichen Abgleich zwischen Problem und dessen Lösung: Als zentrale Aktivität der Produktentstehung dient die Validierung¹⁵ der stetigen Spezifizierung des Zielsystems und der Absicherung der Entwicklungsergebnisse zur Erfüllung des Kunden-, Anwender- und Anbieternutzens. (Albers, Heimicke, Hirschter et al., 2018; Albers, Heimicke, Spadinger et al., 2019)

¹² vgl. Kap. 2.1.2.2

¹³ vgl. Kap. 2.1.3.3: Definition Referenzsystem der PGE - Produktgenerationsentwicklung

¹⁴ vgl. Kap. 2.1.3.1: Definition einer Innovation in der Produktentwicklung

¹⁵ vgl. Kap. 2.1.1.3: Die Validierung als zentrale Aktivität der Produktentwicklung

- Für eine situations- und bedarfsgerechte Unterstützung in jedem Entwicklungs-vorhaben müssen Denkweisen, Methoden und Prozesse skalierbar sein: Abhängig von den projektspezifischen Bedingungen (z.B. Entwicklungsumgebung, Projektgröße, strategische Unternehmensrelevanz) sind die anzuwendenden Denkweisen, Methoden und Prozesse adäquat zu skalieren. (Albers, Heimicke, Hirschter et al., 2018; Albers, Heimicke, Spadinger et al., 2019)

Bei der Implementierung von agilen Ansätzen können durch die Fokussierung von kurzfristigen Entwicklungszyklen Herausforderungen bei der langfristigen Planung und Steuerung des Entwicklungsprozesses entstehen (Cooper, 2016; Karlström & Runeson, 2005). Zudem stoßen rein agile Ansätze in der Mechatroniksystementwicklung aufgrund der physischen Produktgestalt und der Realisierungszeiten an ihre Grenzen (Schmidt & Paetzold, 2016). Darüber hinaus gibt es in der Praxis Entwicklungsprozesse, die abhängig von dem jeweiligen Entwicklungskontext mit einem geringeren oder einem höheren Maß an Flexibilität zu planen und zu steuern sind (Albers, Heimicke, Spadinger et al., 2019). Infolgedessen bewähren sich zunehmend hybride Ansätze, die eine Kombination aus traditionellen und agilen Prozessmodellen darstellen (Cooper, 2016). Cooper (2016) empfiehlt eine stärkere Anwendung von agilen Ansätzen für ein Projekt mit wenig definierten Zielen, einem flexiblen finanziellen Ressourceneinsatz und einer flexiblen Zeitplanung. Im Gegensatz dazu befürwortet er eine stärkere Anwendung von traditionellen Ansätzen für ein Projekt mit definierten Zielen, einem definierten finanziellen Ressourceneinsatz und einer vorgegebenen Zeitplanung. (Cooper, 2016) Nach Albers, Heimicke, Spadinger et al. (2019) ist bei einem zu entwickelnden System mit einem hohen Neuentwicklungsanteil mit einer geringeren Planungsstabilität zu rechnen als bei einem System mit geringem Neuentwicklungsanteil. Demnach muss zur Auswahl des passenden Prozessmodells (sequentiell, hybrid, agil) das Projekt auf verschiedenen Prozessebenen verstanden werden, um einen effizienten Wechsel zwischen den Prozessmodellen sicherzustellen. Entwicklerteams können durch ASD auf jeder Prozessebene das situations- und bedarfsgerechte Maß an Flexibilität bestimmen, indem zwischen sequentiellen und iterativen Ansätzen entsprechend der benötigten Planungsstabilität differenziert wird (Abbildung 2.9). Auf der Prozessebene des Projekts sind die Phasen, auf der Prozessebene der Phasen sind die Aktivitäten innerhalb der Phasen, auf der Prozessebene der Aktivitäten ist der Methodeneinsatz für die Aktivitäten und auf der Prozessebene der Methoden ist die Durchführung der ausgewählten Methoden zu planen. (Albers, Heimicke, Spadinger et al., 2019)

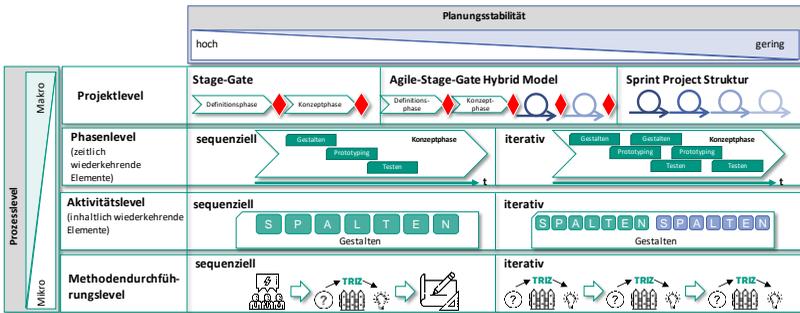


Abbildung 2.9: Auswahl des Maßes an Flexibilität durch ASD (Albers, Heimicke, Spadinger et al., 2019)

2.1.3 Das Modell der PGE - Produktgenerationsentwicklung

Aufbauend auf den Beschreibungen in der Literatur zu Innovationen (Kapitel 2.1.3.1) und zu der Bedeutung von Wiederverwendung in der Produktentwicklung (Kapitel 2.1.3.2) ist das Modell der PGE – Produktgenerationsentwicklung in Kapitel 2.1.3.3 beschrieben.

2.1.3.1 Innovationen in der Produktentwicklung

Nach Schumpeter (1911) sind Erfindungen nur erfolgreich, wenn diese „für die Wirtschaft von praktischer Bedeutung sind“ (Schumpeter, 1911, S. 479). Basierend darauf beschreiben (Albers, Heimicke, Hirschter et al., 2018) ein Produkt als eine Innovation, wenn im Innovationsprozess das richtige Produktprofil¹⁶ (Kunden-, Anwender- und Anbieternutzen) identifiziert wird, dieses technisch überzeugend und umsetzbar ist (Invention) sowie einer erfolgreichen Markteinführung unterliegt. Innovationen können dabei durch externe und interne Einflüsse (z.B. Forschung, Markt, Mitarbeiter) initiiert werden. (Albers, Heimicke, Hirschter et al., 2018)

¹⁶ vgl. Kap. 2.3.2.3: Definition und Erläuterungen zum Produktprofil einer Produktgeneration inkl. des Kunden-, Anwender- und Anbieternutzens

Henderson und Clark (1990) unterscheiden vier Arten von Innovationen als Folge technologischer Änderungen zu einem bereits existierenden technischen System mit Hilfe von zwei Dimensionen. Zum einen wird die Systemstruktur und zum anderen werden die Funktionen der Subsysteme und des Gesamtsystems berücksichtigt. Die vier Arten sind die radikale, inkrementelle, modulare und architekturelle Innovation, wobei eine eindeutige Zuordnung im Allgemeinen in der Praxis schwer möglich ist. (Henderson & Clark, 1990)

- Radikale Innovationen sind charakterisiert durch eine neue Systemstruktur und durch neue Funktionen der Subsysteme. (Henderson & Clark, 1990)
- Inkrementelle Innovationen sind charakterisiert durch eine Erweiterung der bestehenden Systemstruktur und durch gleichbleibende Funktionen der Subsysteme. (Henderson & Clark, 1990)
- Modulare Innovationen sind charakterisiert durch eine bestehende Systemstruktur und durch den Austausch von Funktionalitäten der Subsysteme. (Henderson & Clark, 1990)
- Architekturelle Innovationen sind charakterisiert durch eine angepasste Systemstruktur und durch gleichbleibende Funktionen der Subsysteme. (Henderson & Clark, 1990)

Albers, Bursac et al. (2015) kritisieren, dass diese Unterscheidung eine retrospektive Beurteilung des Markterfolgs mit sich bringt und Misserfolge dadurch unberücksichtigt bleiben (Albers, Bursac et al., 2015). Zudem werden bei der Unterscheidung die Worte¹⁷ *neu*, *bestehend* und *gleichbleibend* verwendet, deren Bedeutungen nicht weiter spezifiziert sind. Komorek (1997) postuliert, dass „Der Neuheitsgrad einer Entwicklungsaufgabe [...] sich anhand der Anzahl, dem Ausmaß und der Unvorhersehbarkeit von Abweichungen gegenüber vorliegenden Erfahrungen und Erkenntnissen feststellen“ (Komorek, 1997, S. 11) lässt. Verworn (2005) dagegen definiert den Neuheitsgrad einer Innovation als „das Ausmaß der Veränderungen in einem Unternehmen, das zur Entwicklung und Einführung des angestrebten neuen Produktes nötig ist. Die Änderungen können in den Ressourcen des Unternehmens und Erfahrungen und Fähigkeiten der Organisationsmitglieder liegen und werden aus der Sicht des Unternehmens im Vergleich zum Zustand vor dem Beginn der Neuproduktentwicklung beurteilt.“ (Verworn, 2005, S. 19). Nach Pahl et al. (2005) ist der Neuheitsgrad einer Innovation von dem Entwicklungsumfang abhängig (Pahl et al., 2005, S. 91). Sie, wie auch Ehrlenspiel (2009), unterscheiden drei Konstruktionsarten entsprechend des notwendigen Informationsbedarfs und der Planbarkeit: Neukonstruktion, Anpassungskonstruktion, Variantenkonstruktion. Eversheim (1990, S. 74) und (Lingnau, 1994, S. 90) führen die Konstruktion mit festem Prinzip

¹⁷ sinngemäße Übersetzung ins Deutsche

als eine weitere Konstruktionsart an. Alle vier Konstruktionsarten durchlaufen die Konstruktionsphasen in unterschiedlicher Bearbeitungstiefe (Ehrlenspiel, 2009, S. 259). In der ersten Konstruktionsphase wird eine technische Lösung für ein Problem konzipiert, indem zu realisierende Produktfunktionen identifiziert und Lösungsprinzipien erarbeitet werden. Die zweite Konstruktionsphase dient dem Entwerfen der Produktgestalt und die dritte Konstruktionsphase dem detaillierten Ausarbeiten der Lösung. (Eversheim, 1990, S. 73) In der Praxis kann eine Innovation meist nicht genau zu einer Konstruktionsart zugeordnet werden. (Ehrlenspiel, 2009, S. 261; Pahl et al., 2005, S. 5)

- Neukonstruktionen erfordern die Entwicklung einer Lösung für ein Problem von Grund auf und basieren entweder auf neuen Lösungsprinzipien oder auf der Kombination bekannter Lösungsprinzipien. In der Regel werden alle Phasen des Konstruktionsprozesses in ähnlicher Bearbeitungstiefe durchlaufen. Es können alle Systemebenen eines Produkts betroffen sein. (Ehrlenspiel, 2009, S. 260; Eversheim, 1990, S. 94; Lingnau, 1994, S. 89; Pahl et al., 2005, S. 91)
- Anpassungskonstruktionen erfordern die Anpassung der Gestalt einer existierenden Lösung für ein Problem an geänderte Randbedingungen unter Beibehaltung der Lösungsprinzipien. In der Regel werden alle Konstruktionsphasen durchlaufen, wobei der Funktionsfindung eine geringere Bedeutung zukommt. Es können Neukonstruktionen für Subsysteme erforderlich sein. (Ehrlenspiel, 2009, S. 262; Eversheim, 1990, S. 74; Lingnau, 1994, S. 89; Pahl et al., 2005, S. 91)
- Variantenkonstruktionen erfordern die Neuordnung und / oder die neue Dimensionierung von Subsystemen innerhalb einer existierenden Lösung für ein Problem innerhalb vorab definierter Produktstrukturregeln. Im Allgemeinen werden die Phasen zum Entwerfen und Ausarbeiten einer Lösung durchlaufen. Infolge eines einmaligen hohen Aufwands bei der Neukonstruktion ist bei einer kundenspezifischen Auftragsabwicklung mit einem geringeren Aufwand zu rechnen. (Ehrlenspiel, 2009, S. 262; Eversheim, 1990, S. 74; Lingnau, 1994, S. 90; Pahl et al., 2005, S. 91)
- Konstruktionen mit festem Prinzip erfordern die Dimensionierung der Subsysteme innerhalb einer existierenden Lösung für ein Problem unter Beibehaltung der Lösungsprinzipien und der Gestalt. In der Regel wird nur die Phase der Ausarbeitung durchlaufen. In der Praxis kommt diese Konstruktionsart hauptsächlich bei kundenspezifischen Varianten zum Einsatz. (Eversheim, 1990, S. 75; Lingnau, 1994, S. 90)

Aus einer Studie von Albers, Bursac et al. (2014) geht hervor, dass Produktentwicklungen in der Praxis nicht entsprechend den drei Konstruktionsarten (Neu-, Anpass-

sungs-, Variantenkonstruktion) klassifiziert werden können. Aufgrund dessen befürworten Albers, Matthiesen et al. (2014) die Klassifizierung in übernommene Subsysteme mit unveränderter Systemstruktur und in Subsysteme, die gezielt angepasst und neuentwickelt werden (Albers, Bursac et al., 2014; Albers, Matthiesen et al., 2014). Meistens sind bei der Neuentwicklung eines Produkts mehrere konstruktive Anpassungen notwendig und weniger die Entwicklung eines neuen Lösungsprinzips (Albers, Bursac et al., 2015). Das Modell der PGE – Produktgenerationsentwicklung¹⁸ nach Albers, Bursac et al. (2015) inkludiert diese Überlegungen für alle Produktentwicklungsprojekte.

2.1.3.2 Wiederverwendung in der Produktentwicklung

Neue Produkte werden auf Basis von existierenden Produkten entwickelt, indem existierende Produkte modifiziert werden, um neuen Anforderungen gerecht zu werden (Cross, 2005, S. 3; Eckert et al., 2010; Jarratt et al., 2005, S. 263). Zur Vermeidung von Risiken im Produktentwicklungsprozess ist das Ziel, etablierte Subsysteme eines Produkts weitestgehend zu übernehmen (Eckert et al., 2010). Meinel und Leifer (2015) stellen die Behauptung auf, dass jede Innovation eine wiederkehrende Innovation ist (Meinel & Leifer, 2015, 3). Busby (1998) beschreibt den Wissenstransfer von einer existierenden (Teil-)Lösung eines Problems in ein neues Problem als eine elementare Fähigkeit der Entwickler (Busby, 1998).

Für eine erfolgreiche Wiederverwendung von existierenden Systemen muss nach Pakkanen et al. (2016) der daraus resultierende Anbieternutzen gewährleistet sein (Pakkanen et al., 2016). Mit einem Produkt, das von Grund auf neu entwickelt wird, gehen immense Risiken und Kosten im Entwicklungsprozess einher (Busby, 1998). Durch die Wiederverwendung von bekannten und etablierten Systemen können unter anderem deren Systemverhalten (z.B. Leistungsdaten) und deren Systembedingungen (z.B. Fertigungsprozesse) hinsichtlich des neuen Produkts analysiert und validiert, das Verständnis erhöht und das Wissen darüber übertragen werden (Ahmed et al., 2003). Infolge eines systematischen Wissensaufbaus können die Anforderungen an ein neues Produkt gezielt umgesetzt werden, wodurch weniger Iterationen im Entwicklungsprozess und zur Abstimmung mit den Kunden notwendig sind. Dadurch kann die Kundenzufriedenheit, die Produkt- und Produktionsqualität erhöht sowie die Entwicklungszeit und der Ressourcenverbrauch reduziert werden. Folglich steht mehr Zeit für weitere Innovationen zur Verfügung. (Baxter et al., 2008; Pakkanen et al., 2016; Schneidermeier, 2012) Duffy und Ferns (1999) haben mit Unternehmen verschiedener Industriezweige den Nutzen durch Wiederverwendung untersucht. Aus der Untersuchung resultiert, dass eine Reduktion der Kosten um

¹⁸ vgl. Kap. 2.1.3.3

28%, eine Verbesserung der Produktqualität um 27% und eine Reduktion der Entwicklungszeit um 25% erzielt werden kann. (Duffy & Ferns, 1999) Durch eine bekannte, benutzerfreundliche Anwendung bei gleichzeitig neuen, geforderten Anforderungen kann auch der Anwendernutzen hinsichtlich der Anwenderfreundlichkeit erhöht werden (Schneidermeier, 2012). Für eine effiziente Wiederverwendung muss nach Albers, Bursac et al. (2014) die Verfügbarkeit von relevanten Informationen, die Transparenz und die konsequente Dokumentation von Informationen sichergestellt sein (Albers, Bursac et al., 2014).

Hinsichtlich der Wiederverwendung von Wissen über existierende (technische) Systeme gibt es in der Literatur unterschiedliche Klassifizierungen. Oftmals ist die Rede von Wissen über das existierende Produktdesign und das Wissen über weitere, nicht weiter spezifizierte Artefakte (vgl. Cross, 2005; Schneidermeier, 2012). Sowohl Burge und Brown (2012) als auch Fletcher und Gu (2005) unterscheiden zwischen den Informationsarten *Design knowledge* (dt. Konstruktionswissen) und *Design rationale* (dt. Konstruktionsbegründungen). Konstruktionswissen umfasst alle Informationen zu einem Produkt (z.B. Produktspezifikationen, Produktstrukturregeln), die während der Produktentstehung generiert werden. Konstruktionsbegründungen enthalten alle Informationen inklusive der Gründe von Entscheidungen (z.B. Annahme/Ablehnung eines Projekts), die innerhalb der Produktentstehung getroffen werden. (Burge & Brown, 2012; Fletcher & Gu, 2005) Nach Baxter et al. (2007) sind drei Wissens Elemente relevant: Wissen über *das referenzierte Produkt*, Wissen über *Best Practices* in einem ähnlichen Systemkontext, Wissen über *anzuwendende Methoden* (Baxter et al., 2007). Neben dem Wissen über fachbereichsspezifische Methoden, ist auch das Wissen über das Vorhandensein und über die Anwendung von Tools (Cross, 2005, S. 3; Pakkanen et al., 2016) und Projektmanagementmethoden (Baxter et al., 2007) von Bedeutung.

2.1.3.3 Das Modell der PGE - Produktgenerationsentwicklung

Mit dem Modell der PGE – Produktgenerationsentwicklung wird die Produktentwicklung aus einer neuen Sichtweise beschrieben (Albers, Bursac et al., 2015). Das Modell deckt die Überlegungen klassischer Ansätze aus der Literatur¹⁹ ab. Darüber hinaus werden Entwicklungsumgebungen in der Praxis berücksichtigt. (Albers, Bursac et al., 2015) Nach Albers, Bursac et al. (2017) und Albers, Rapp, Spadinger, Richter, Birk, Marthaler, Heimicke, Kurtz und Wessels (2019b) ist das Modell wie folgt definiert.

¹⁹ vgl. Kap. 2.1.3.1 und Kap. 2.1.3.2

PGE - Produktgenerationsentwicklung

Die Produktgenerationsentwicklung ist die Entwicklung einer neuen Generation eines technischen Produkts, die sowohl durch die Anpassung von Teilsystemen als Übernahmevariation als auch durch eine signifikante Neuentwicklung von Teilsystemen charakterisiert ist. Neue entwickelte Anteile technischer Produkte können durch Gestalt- und Prinzipvariation realisiert werden. Jede Produktgeneration basiert auf genau einem Referenzsystem. Referenzprodukte als Elemente des Referenzsystems beschreiben die grundsätzliche Struktur neuer Produktgenerationen. Zwischen parallel entwickelten Produkten und Referenzsystemen kann es ebenfalls Wechselbeziehungen und Abhängigkeiten geben.

Das Referenzsystem ist nach Albers, Rapp, Spadinger, Richter, Birk, Marthaler, Heimicke, Kurtz und Wessels (2019a) wie folgt definiert.

Referenzsystem

Das Referenzsystem für die Entwicklung einer neuen Produktgeneration ist ein System, dessen Elemente bereits existierenden oder bereits geplanten sozio-technischen Systemen und der zugehörigen Dokumentation entstammen und Grundlage und Ausgangspunkt der Entwicklung der neuen Produktgeneration sind.

Das Referenzsystem ist die Grundlage für die Entwicklung einer jeden Produktgeneration und besteht aus Strukturen und Teilsystemen existierender (technischer) Systeme²⁰. Zu den Elementen des Referenzsystems zählen Strukturen und Teilsysteme mindestens eines Referenzprodukts. (Albers, Rapp, Spadinger, Richter, Birk, Marthaler, Heimicke, Kurtz & Wessels, 2019a). Ein Referenzprodukt ist nach Albers, Bursac et al. (2017) wie folgt definiert.

²⁰ vgl. Kap. 2.1.3.2: Erläuterung zur Wiederverwendung in der Produktentwicklung

Referenzprodukt

Referenzprodukte sind bestehende Produkte (z.B. Vorgänger- oder Wettbewerbsprodukte), auf deren Basis neue Produktgenerationen entwickelt werden. Dazu werden teilweise deren Struktur und Teilsysteme übernommen oder als Ausgangspunkt für Variationen zugrunde gelegt.

Auf Basis der Referenzprodukte wird im Wesentlichen die Systemstruktur definiert, worunter die Funktions- und Baustruktur verstanden wird (Albers, Bursac et al., 2017). Referenzprodukte können beispielsweise eine Vorgängergeneration, ein Wettbewerbsprodukt oder ein Produkt aus einem anderen Industriezweig sein (Albers, Rapp, Spadinger, Richter, Birk, Marthaler, Heimicke, Kurtz & Wessels, 2019b; Eckert et al., 2010). Dokumentationen, Zeichnungen, Berichte sowie Anforderungen können als Teilsysteme eines Referenzprodukts in die Entwicklung mit eingehen (Ahmed et al., 2003; Albers, Bursac et al., 2017; Eckert et al., 2010; Jarratt et al., 2005). Darüber hinaus zählen zu den Elementen des Referenzsystems weitere Objekte und Artefakte, die in unterschiedlichen Reifegraden vorliegen und aus Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten resultieren können (Albers, Bursac et al., 2016; Albers, Rapp, Spadinger, Richter, Birk, Marthaler, Heimicke, Kurtz & Wessels, 2019a). Zum Beispiel sind existierende Anlagen und Maschinen (Cross, 2005, S. 3) oder strategische Aspekte (Albers, Rapp, Peglow et al., 2019) bei der Entwicklung einer neuen Produktgeneration zu berücksichtigen. Das Referenzsystem wird während der Entwicklung einer Produktgeneration kontinuierlich durch das aktive Hinzufügen und Eliminieren von existierenden (technischen) Teilsystemen, die für die Entwicklung der Produktgeneration von Bedeutung sind, aufgestellt. Anpassungen der Elemente des Referenzsystems können eine Folge von geänderten Anforderungen und Validierungsaktivitäten sein. Für jede Produktgeneration gibt es ein spezifisches Referenzsystem. Somit sind neben den Wechselwirkungen zwischen den Elementen des Referenzsystems einer Produktgeneration, auch die Wechselwirkungen zwischen den Elementen der Referenzsysteme weiterer Produktgenerationen zu beachten, sofern die Produktgenerationen durch gemeinsame Elemente in Verbindung stehen. (Albers, Rapp, Spadinger, Richter, Birk, Marthaler, Heimicke, Kurtz & Wessels, 2019b)

Durch das Modellelement *Variationsarten* werden die Elemente des Referenzsystems mit den Aktivitäten *Übernahme*-, *Gestalt*- und *Prinzipvariation* und mit Hilfe des Handlungssystems der Produktgeneration gezielt in das korrespondierende Objektsystem überführt (Albers, Rapp, Spadinger, Richter, Birk, Marthaler, Heimicke, Kurtz & Wessels, 2019b). Der Entwicklungsprozess einer Produktgeneration ist zusammengesetzt als die Menge an Aktivitäten zur Übernahmevariation, Gestaltvariation und Prinzipvariation (Albers, Bursac et al., 2015). Die Anteile der Variationsarten

können bei der Abschätzung des Entwicklungsrisikos und des Entwicklungspotentials sowie zur Planung und zur Steuerung der Entwicklungsprozesse unterstützen. (Albers, Bursac et al., 2014; Albers, Bursac et al., 2015; Albers, Bursac et al., 2016, 2017)

- **Übernahmevariation (ÜV):** Teilsysteme werden als Elemente des Referenzsystems mit gleichbleibender Gestalt und unverändertem Lösungsprinzip in das Objektsystem der Produktgeneration aufgenommen, wobei es gegebenenfalls zu Anpassungen an den Schnittstellen zu neu entwickelten Teilsystemen kommen kann. Folglich ist der Konstruktionsumfang aufgrund der Anpassungen minimal. (Albers, Bursac et al., 2015)
- **Gestaltvariation (GV):** Teilsysteme werden als Elemente des Referenzsystems mit neu entwickelter Gestalt und im Wesentlichen unverändertem Lösungsprinzip in das Objektsystem der Produktgeneration aufgenommen. GV ist die häufigste Aktivität der Produktentwicklung. (Albers, Bursac et al., 2015)
- **Prinzipvariation (PV):** Teilsysteme werden als Elemente des Referenzsystems mit neu entwickeltem Lösungsprinzip in das Objektsystem der Produktgeneration aufgenommen. Jede PV impliziert eine GV, da mit einem neuen Lösungsprinzip im Allgemeinen eine neue Gestalt entwickelt wird. (Albers, Bursac et al., 2015; Albers, Bursac et al., 2017)

2.1.4 Erkenntnisse zu den Modellen in der Produktentstehung

Nach Albers (2010) ist eine Neuentwicklung eines Produkts²¹ die Überführung des Zielsystems (Ziele, Anforderungen, Randbedingungen, Wechselwirkungen) in das Objektsystem (Entwicklungsergebnisse mit unterschiedlichen Produktreifegraden) durch das Handlungssystem (Aktivitäten, Methoden, Prozesse)²² (Albers, 2010; Albers & Braun, 2011). Zudem beschreiben Albers, Bursac et al. (2014) neue Produkte als neue Produktgenerationen²³, die durch ÜV, GV und PV des Referenzsystems der Produktgeneration entwickelt werden. Unter Berücksichtigung des Systemwissens über existierende (technische) Systeme, Methoden und Prozesse kann während des Produktentwicklungsprozesses die Konsistenz des Zielsystems einer Produktgeneration hinsichtlich der Elemente des Referenzsystems der Produktgeneration gewährleistet werden. Die Folge ist eine Erhöhung der Kunden-

²¹ vgl. Kap. 2.1.1: jedes Produkt wird als ein System verstanden

²² vgl. Kap. 2.1.1: Erläuterungen zu den wichtigsten Systemklassen der Systemtechnik

²³ vgl. Kap. 2.1.3: Erläuterungen zu den zwei wichtigsten Modellelementen der PGE - Produktgenerationsentwicklung

, Anwender- und Anbieternutzen. (Albers, Peglow et al., 2019; Albers, Rapp, Spadinger, Richter, Birk, Marthaler, Heimicke, Kurtz & Wessels, 2019b)

Im erweiterten ZHO-Modell wird eine kontinuierliche Weiterentwicklung des Ziel- und Objektsystems einer Produktgeneration durch iterative Kreation-Validierungs-Zyklen ermöglicht. Mit den drei Teilaktivitäten der Validierung (Bewertung, Objektivierung, Verifizierung) wird das Zielsystem spezifiziert, wodurch die Unsicherheit und das Entwicklungsrisiko reduziert werden kann. (Albers, Behrendt et al., 2013)

In Zusammenhang mit dem Referenzsystem einer Produktgeneration zeigen Albers, Rapp, Spadinger, Richter, Birk, Marthaler, Heimicke, Kurtz und Wessels (2019a) den Bedarf an weiteren Forschungsaktivitäten auf. Dazu zählt die Modellierung eines systematischen Prozesses zur Bewertung des Zielsystems einer Produktgeneration, ob dieses Zielsystem mit den Elementen des Referenzsystems konsistent ist. (Albers, Rapp, Spadinger, Richter, Birk, Marthaler, Heimicke, Kurtz & Wessels, 2019a) ASD ist ein geeigneter Ansatz, um Prozesse auf verschiedenen Prozessebenen durch die situations- und bedarfsgerechte Auswahl an strukturgebenden und flexiblen Elemente zu modellieren (Albers, Heimicke, Spadinger et al., 2019). Mit dem iPeM können entsprechend der Entwicklungssituation adäquate Methoden ausgewählt und Prozesse abgebildet werden (Albers, Reiß, Bursac & Richter, 2016).

Darüber hinaus sehen Albers, Rapp, Spadinger, Richter, Birk, Marthaler, Heimicke, Kurtz und Wessels (2019a) in einer systematischen Bewertung Möglichkeiten, um Entwicklungskosten, -risiken und -potentiale einer Produktgeneration zu identifizieren sowie um einen zielgerichteten Umgang mit diesen sicherzustellen. (Albers, Rapp, Spadinger, Richter, Birk, Marthaler, Heimicke, Kurtz & Wessels, 2019a) Mit Hinblick auf das erweiterte ZHO-Modell ergeben sich weitere Forschungsaktivitäten in Bezug auf die Gestaltung der Bewertung der Elemente des Referenzsystems aus Stakeholder-Sicht. Dies inkludiert die Beurteilung des Entwicklungspotentials einer Produktgeneration unter der umfassenden Berücksichtigung der Interessensgruppen, die bei der Entwicklung involviert sind, ohne dabei den Kunden-, Anbieter- und Anwendernutzen zu reduzieren. (Albers, Rapp, Peglow et al., 2019)

2.2 Variantenvielfalt in der automobilen Zulieferindustrie

In Kapitel 2.2.1 ist die aktuelle Situation der automobilen Zulieferindustrie und in Kapitel 2.2.2 ist die Bedeutung von Variantenvielfalt in der Produktentstehung beschrieben. In Kapitel 2.2.3 ist speziell der Umgang mit Variantenvielfalt in der Produktentstehung hervorgehoben.

2.2.1 Die automobilen Zulieferindustrie

Um ein Verständnis für die Rahmenbedingungen des Forschungsprojekts zu schaffen, ist in Kapitel 2.2.1.1 der Strukturwandel, in Kapitel 2.2.1.2 die Bedeutung des Megatrends *Produktindividualisierung* und in Kapitel 2.2.1.3 die wirtschaftliche Situation der automobilen Zulieferindustrie beschrieben.

2.2.1.1 Strukturwandel in der automobilen Zulieferindustrie

Die Automobil- und die automobilen Zulieferindustrie haben in den letzten 40 Jahren einen strukturellen Wandel durchlebt (Stockmar, 2014). Zu den Auslösern des Wandels zählen die angespannte Wettbewerbssituation in den gesättigten Fahrzeugmärkten und kürzer werdende Produktlebenszyklen. Individuellere Kundenanforderungen und das Vordringen in neue Marktnischen erforderten technologische Innovationen in der gesamten Zulieferkette. (Abele et al., 2013; Kurek, 2004, S. 13–16; Stockmar, 2014) Zur Kompensation des Kosten-, Zeit-, Differenzierungs- und Innovationsdrucks begannen die Automobilhersteller um 1980 mit der Reduktion ihrer eigenen Wertschöpfungstiefe und der Delegation von Aufgaben an ihre Zulieferer. Die Automobilhersteller verfügten um 1980 über Kompetenzen in so gut wie allen Funktionen (z.B. Design, Entwicklung, Werkzeuge, Fertigungsentwicklung, Teilefertigung, Rohbau, Lackierung), weshalb die Wertschöpfungstiefe bei über 50% lag. Bis dahin standen die unabhängigen Zulieferer in einem direkten Wettbewerb zueinander. Dies veränderte sich ab 1990 durch die Bündelung von strategischen Zulieferern der Automobilhersteller. Aufgrund der Auslagerung von beispielsweise der Werkzeugentwicklung und der Teilefertigung an die Zulieferer, sank die Wertschöpfungstiefe der Automobilhersteller auf circa 30%. Die Zulieferer übernahmen vermehrt die Verantwortung für zum Beispiel den Rohbau, die Lackierung und die Vormontage, weswegen die Wertschöpfungstiefe ab circa 2010 weniger als 20% betrug. (Stockmar, 2014) Zunehmend vernetzten sich sowohl die Automobilhersteller mit den Zulieferern, als auch die Zulieferer untereinander. Es ist anzunehmen, dass der Wertschöpfungsanteil seitens der Automobilhersteller in den nächsten Jahren weiter sinken wird. (Kurek, 2004, S. 9–16; Stockmar, 2014)

Albers (1994) spricht von einer Zulieferstruktur in Form einer Zulieferpyramide. Dabei stehen die Automobilhersteller, die in der Automobilindustrie mit OEM (engl. Original Equipment Manufacturer) betitelt sind, an der Spitze der Pyramide (Albers, 1994). Diese beauftragen die direkt darunter angesiedelten Modul- und Systemlieferanten (Tier 1-Zulieferer), die nach den Anforderungen der Automobilhersteller Teilsysteme herstellen. Die Tier 2-Zulieferer stellen die Komponentenlieferanten dar, die von dem Tier 1-Zulieferer Aufträge für Komponenten annehmen. Auf unterster Ebene in der Pyramide stehen die Tier 3- bis Tier n-Zulieferer, die die Zulieferer der darüber gelegenen Ebene mit Teilen und Rohmaterialien versorgen. (Becker, 2014, S. 60–61; Reichhuber, 2009, S. 22–23) Becker (2014, S. 60) stellt die Zulieferstruktur zwar in der klassischen Pyramidenform dar, bezieht aber schon die Systemintegratoren mit ein (Tier 0,5-Zulieferer). Systemintegratoren sind für die Entwicklung und die Integration von Komponenten zu einbaufertigen Systemen und Modulen verantwortlich (Reichhuber, 2009, S. 23). Die vernetzte Zulieferstruktur zeigt sich zudem in der Ansiedlung der Systemintegratoren zur Vormontage der Systeme direkt auf dem Werksgelände des Automobilherstellers, um einen effizienten Logistik- und Fertigungsprozess zu gewährleisten (Grammel et al., 2000). Die in Abbildung 2.10 gezeigte Darstellung der vernetzten Zulieferstruktur in der Automobilindustrie entspricht den Ausführungen nach Becker (2014), Erler (2015), Grammel et al. (2000) und Kurek (2004). Im Vergleich zur Zulieferpyramide weist die vernetzte Zulieferstruktur weniger Direktbelieferungen auf. Die Automobilhersteller und die Zulieferer beziehen ihre Systeme, Komponenten und Teile nicht mehr nur von den direkt darunterliegenden Zulieferern. (Göpfert & Braun, 2017).

Aus dem Wandel der Zulieferstruktur resultieren vier Kennzeichen, die die Automobil- und die automobilen Zulieferindustrie bedingt haben und durch entsprechende Konsequenzen charakterisiert werden. Sowohl die Automobilhersteller als auch die Zulieferer fokussieren sich zunehmend auf ihre jeweiligen Kernkompetenzen. (Abele et al., 2013; Eigner, 2009; Grammel et al., 2000; Kurek, 2004)

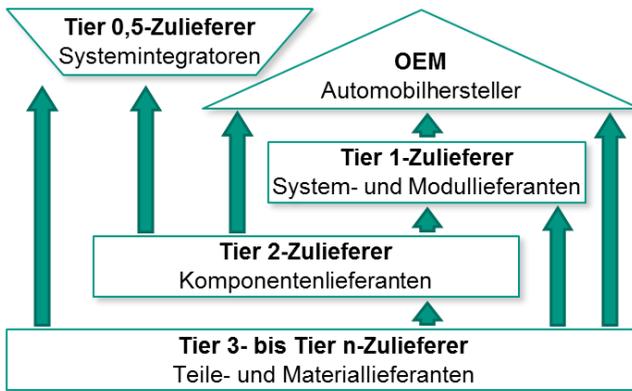


Abbildung 2.10: Zulieferstruktur in der Automobilindustrie nach Becker (2014), Erler (2015), Grammel et al. (2000), Kurek (2004)

Durch die Verlagerung der Wertschöpfung wird die Komplexität in der vertikalen Zulieferstruktur steigen. Der Fokus in der Wertschöpfungskette verändert sich von einer bisher funktional ausgerichteten Struktur zu einer wissensbasierten Struktur in den jeweiligen Kompetenzbereichen der Automobilhersteller und der Zulieferer. Der Unternehmenserfolg der Automobilhersteller ist weniger als bisher durch die Integration von Modulen und Systemen zu erreichen, sondern mehr durch die Fokussierung auf technologische Innovationen. International ausgerichtete Tier 1-Zulieferer, die die gesamte Wertschöpfung für Module und Systeme übernehmen, werden langfristig am Markt bestehen können. (Abele et al., 2013; Göpfert & Braun, 2017; Grammel et al., 2000) Bei der Auslagerung von Entwicklungs- und Fertigungsaufgaben reduzierten nicht nur die Automobilhersteller, sondern auch die Zulieferer die Anzahl an direkten Zulieferern. Das Resultat sind **strategische Kooperationen**, um Synergieeffekte zu schaffen. (Grammel et al., 2000; Kurek, 2004) Die Zusammenarbeit mit den wenigen, qualifizierten Zulieferern kann intensiver werden. Die Komplexität bei der Koordination vieler verschiedener Lieferanten kann reduziert werden. Der Kommunikations- und Informationsfluss kann sich zwischen den Zuliefererebenen verbessern. Die Reaktionszeit zur Bearbeitung von Anfragen kann abnehmen. Die Effektivität und die Effizienz können mit Hilfe neuer Zusammenarbeitsformen gesteigert werden. (Göpfert & Braun, 2017; Kurek, 2004) **Zulieferer und Automobilhersteller stärker vernetzen** werden sich stärker vernetzen (Abele

et al., 2013; Kurek, 2004) Vermehrt schließt sich ein Automobilhersteller mit unabhängigen Lieferanten mit unterschiedlichen Kernkompetenzen zu Netzwerken zusammen. Neue Formen der Zusammenarbeit und der Zusammenschluss von Unternehmen über eine definierte Zeit gewinnen an Bedeutung. Die Zusammenarbeit zwischen den Automobilherstellern sowie zwischen den Automobilherstellern und den Zulieferern wird komplexer. (Abele et al., 2013; Eigner, 2009; Kurek, 2004) Mit der weltweiten Vernetzung der Kooperationspartner steigt der Bedarf an einer vernetzten Kommunikation und Koordination auf Basis einer **informationstechnologischen Infrastruktur** (Eigner, 2009). Für eine effiziente unternehmensinterne und -externe Zusammenarbeit werden virtuelle Methoden vermehrt zum Einsatz kommen. Mit Hilfe von digitalen und vernetzten Systemen werden Zulieferer in die Prozesse der Auftraggeber verstärkt integriert. Die Anforderungen an die informationstechnologischen Systeme steigen durch die Vernetzung der Kooperationspartner. Informationstechnologien gewinnen zur unternehmensinternen und -externen Kommunikation zwischen international verteilten Beteiligten an Bedeutung. (Eigner, 2009; Stockmar, 2014)

2.2.1.2 Produktindividualisierung in der automobilen Zulieferindustrie

Megatrends haben mindestens mittelfristig (5-20 Jahre), wenn nicht sogar langfristig (20-50 Jahre) immense Auswirkungen auf die Wirtschaft, die Politik und die Gesellschaft. (Gaterrer, 2012; Kreibich, 2009) Im Folgenden sind die Megatrends mit Fokus auf internationale Industrieunternehmen und insbesondere auf die Automobilindustrie sowie die automobilen Zulieferindustrie beschrieben.

Allgemein zählen zu den Megatrends des 21. Jahrhunderts der Wandel zur Dienstleistungs- und Wissensgesellschaft, die Globalisierung und die weltweite Vernetzung sowie die Bedeutung von Umwelt, Mobilität und Individualisierung. (Gaterrer, 2012; Kreibich, 2009) Mit Hinblick auf Industrieunternehmen spielt besonders die Globalisierung eine wesentliche Rolle hinsichtlich der weltweiten Vernetzung von verteilten Standorten in internationalen Produktionsnetzwerken. Mit der Vernetzung geht die Digitalisierung und die Bereitstellung von Wissen, Produkt- und Produktionsdaten über alle Phasen des Produktlebenszyklus einher. Mit Hilfe einer durchgängigen Informationstechnik können technische und organisationale sowie unternehmensinterne und unternehmensexterne Prozesse vernetzt und das zugrunde gelegte Wissen transparent und effizient zur Verfügung gestellt werden. Mit der Globalisierung steigt der Bedarf an Mobilitätslösungen, wodurch unter anderem die Automobilindustrie an Bedeutung gewinnt. (Jacobi & Landherr, 2013; Westkämpfer, 2013b)

Aufgrund der zunehmenden Individualisierung steigt die Anzahl an kundenspezifischen Produkten. Heß (2008) betont, dass die zunehmende Produktindividualisierung eine aktive Kundenorientierung in den Wertschöpfungsprozessen der gesamten Zulieferkette zur Folge hat (Heß, 2008). Speziell für die Automobilindustrie haben Göpfert et al. (2017) die Herausforderungen und die Trends identifiziert, die in den anderen Industriezweigen (noch) nicht bemerkbar sind (Tabelle 2). Untersucht wurde dabei jeweils der verstärkende (+) oder der hemmende (-) wechselseitige Einfluss. Göpfert et al. (2017) unterscheiden den Aspekt der Produktindividualisierung zwischen den Auswirkungen auf die Individualisierung der Fahrzeugmodelle und der Fahrzeugausstattung. (Göpfert et al., 2017, S. 37) Für die vorliegende Arbeit sind diese zwei Aspekte der Produktindividualisierung hellgrau hervorgehoben.

Tabelle 2: Wechselwirkungen der Herausforderungen und Trends (Göpfert et al., 2017, S. 37)

Herausforderungen und Trends		2	3	4	5	6	7	8	9
1	Globalisierung	+	+	-	0	--	+	+/-	+
2	Kundenorientierung		-	+	+	0	+	+	+
3	Kostendruck			-	-	+	-	-	+
4	Umweltaspekte				0	+	+	+/-	+
5	Innovationsdruck					0	0	+	+
6	Neue Wachstumsmärkte						+	+/-	0
7	Anstieg der angebotenen Fahrzeugmodelle							+	+
8	Individualisierung der Ausstattung								+
9	Neuausrichtung der Wertschöpfungsketten								

Aufgrund der Erfahrungen in der automobilen Zulieferindustrie sind die hellgrauen Zellen modifiziert, die nach Göpfert et al. (2017) mit keiner Wechselwirkung (0) gekennzeichnet sind. Hinsichtlich der individuellen Fahrzeugausstattung ist anzunehmen, dass die Erzeugnisse der Zulieferer ebenfalls von der Globalisierung betroffen sind, sofern die Erzeugnisse in einem internationalen Produktionsnetzwerk hergestellt werden. Zudem wird davon ausgegangen, dass die Erzeugnisse der Zulieferer

an die ökologischen Anforderungen und an die Anforderungen der neuen Wachstumsmärkte auszurichten sind, wodurch auch die Individualisierung der Baugruppen und Komponenten zunimmt.

2.2.1.3 Wirtschaftliche Situation in der automobilen Zulieferindustrie

Roth (2019) beschreibt die aktuelle wirtschaftliche Situation der Automobilindustrie mit „dem größten Wandel ihrer Geschichte“ (Roth, 2019, S. 350). Neben dem anhaltenden Strukturwandel²⁴ und der zunehmenden Produktindividualisierung²⁵ gewinnen neue Antriebsarten und somit auch neue Unternehmensstrategien und -konzepte an Bedeutung. (Roth, 2019)

Der Zeitraum des Forschungsprojekts liegt in dem Zeitraum der Diesellaffäre²⁶. Die ersten Anzeichen der Diesellaffäre sind 2015 aufgetreten, wobei die wirtschaftlichen und rechtlichen Konsequenzen mit der Zeit zunehmend deutlich wurden. (SPIEGEL ONLINE, 2017; ZEIT ONLINE, 2017) Zukünftige Entwicklungen sind mit dem Technologietrend hin zur Elektrifizierung des Antriebsstrangs bei den Hybrid-²⁷ und Elektrofahrzeugen zu erwarten. (Wallentowitz & Leyers, 2014) Hinsichtlich der Zukunftsprognosen der Automobilindustrie und insbesondere des Dieselmotors sind im Folgenden zwei Studien beschrieben. Die erste betrachtete Studie wurde von der Aral AG zur Marktforschung mit dem Titel „Trend beim Autokauf 2017“ implementiert. Die Entwicklung der Anzahl neuzugelassener Pkws mit Dieselmotor ist in Abbildung 2.11 von 1990 bis 2017 auf Basis der Daten des Kraftfahrt-Bundesamt, o.J.s und einer Studie der Aral AG visualisiert. Aus der Studie geht hervor, dass im Jahr 2017 circa 45,8 Millionen Fahrzeuge in Deutschland zugelassen waren. Davon sind 98,4% konventionell betriebene Fahrzeuge mit einem Diesel- oder einem Benzinmotor. Von Anfang 2015 bis Anfang 2017 wuchs die Anzahl an Fahrzeugzulassungen um 1,4 Millionen Fahrzeuge. Der Anteil an neuzugelassenen Fahrzeugen mit Dieselmotor nahm innerhalb des Jahres 2016 um 2,1%-Punkte ab. Im Gegensatz dazu stieg die Anzahl an Hybridfahrzeugen von circa 107.000 im Jahr 2015 auf circa 165.000 Anfang des Jahres 2017. Das batteriebetriebene Fahrzeug hatte Anfang

²⁴ vgl. Kap. 2.2.1.1: Erläuterungen zum strukturellen Wandel in der automobilen Zulieferindustrie

²⁵ vgl. Kap. 2.2.1.2: Erläuterungen zu der Bedeutung der Produktindividualisierung für die automobilen Zulieferindustrie

²⁶ Die Diesellaffäre ist nach SPIEGEL ONLINE (2017) die Zusammenfassung mehrerer gesetzeswidriger Manipulationen von Grenzwerten für Abgase von Fahrzeugen in der Automobilindustrie. 2015 gab es die ersten Pressemitteilungen zu den Manipulationen.

²⁷ Ein Hybridfahrzeug umfasst zwei Antriebsstränge: Verbrennungsmotor und Elektroantrieb

des Jahres 2017 mit einer Anzahl von circa 34.000 weiterhin den geringsten Anteil an Pkw-Neuzulassungen. (Aral AG, 2007)

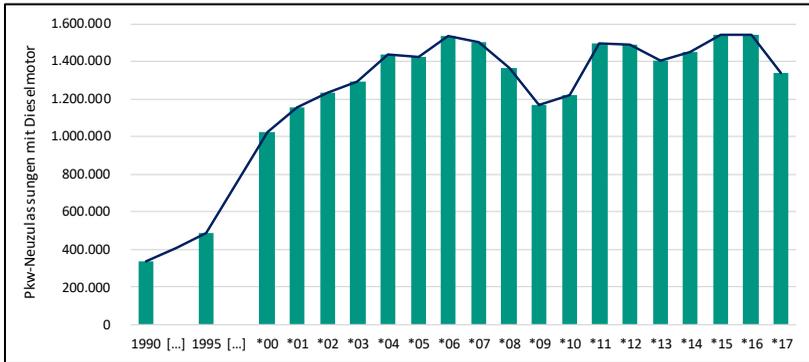


Abbildung 2.11: Anzahl der Pkw-Neuzulassungen mit Dieselmotor von 1990 bis 2017 (Aral AG, 2007)

Die zweite betrachtete Studie „Future Automotive Industry Structure – FAST 2030“ von Oliver Wyman und dem Verband der Automobilindustrie (VDA) wurde im Mai 2018 veröffentlicht. Auf Basis der 95 Millionen weltweit hergestellten Pkws und leichten Nutzfahrzeuge im Jahr 2017 prognostiziert Oliver Wyman (2018) im Rahmen der zweiten Studie für das Jahr 2020 100,5 Millionen und für das Jahr 2030 123 Millionen weltweit hergestellte Pkws und leichte Nutzfahrzeuge. Der Anteil an konventionell betriebenen Fahrzeugen wird von 2020 bis 2030 von 84% auf 38% sinken, das auf den Zuwachs an Hybridfahrzeugen (24%-Punkte) und an Elektrofahrzeugen (22%-Punkte) zurückzuführen ist (Abbildung 2.12). (Oliver Wyman, 2018)

Sowohl in den Ausführungen von Grammel et al. (2000), Abele et al. (2013), Roth (2019) und Stockmar (2014), als auch in den zwei Studien sind Maßnahmenempfehlungen für die Automobilhersteller und die Zulieferer explizit genannt oder angedeutet: Dazu zählen beispielsweise: Konzentration auf kundenorientierte Produkte, Verkürzung der Zeit bis zur Markteinführung durch einen effizienten Produktentwicklungsprozess, Fokussierung auf schlanke, unternehmensinterne und -externe Prozesse.

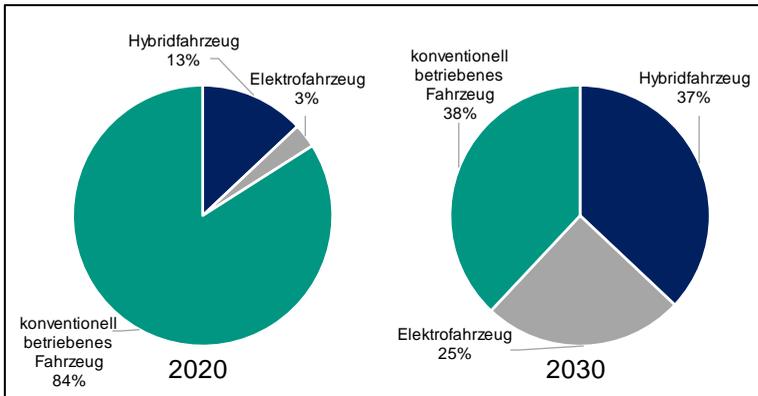


Abbildung 2.12: Die Verteilung der Pkw-Antriebstechnologien 2020 und 2030 (Oliver Wyman, 2018)

2.2.2 Bedeutung von Variantenvielfalt in der Produktentstehung

Für ein einheitliches Verständnis sind in Kapitel 2.2.2.1 die Begriffe *Variante*, *Variantenvielfalt* und *Variantenmanagement* erläutert. Die Ursachen von Variantenvielfalt sind in Kapitel 2.2.2.2 und die Auswirkungen sind in Kapitel 2.2.2.3 dargelegt.

2.2.2.1 Die Begriffe – Variante, Variantenvielfalt, Variantenmanagement

Zu dem Begriff *Variante* gibt es eine Vielzahl an Definitionen, die unterschiedliche Aspekte aufgreifen. Auf Basis der im Folgenden vorgestellten Definitionen, ist eine Definition für diese Arbeit abgeleitet. Varianten sind im Duden als eine „leicht veränderte Art, Form von etwas“ (Duden, 2018)²⁸ beschrieben. In der DIN 199-1, 2002 sind Varianten als „Gegenstände ähnlicher Form und/oder Funktion mit einem in der Regel hohen Anteil identischer Gruppen oder Teile.“ (DIN 199-1, 2002) definiert. Diese Definition nimmt Lingnau (1994) als Grundlage für seine Arbeit. Lingnau

²⁸ Suchbegriff: Variante

(1994) weist darauf hin, dass zwischen immateriellen und materiellen Gegenständen nicht eindeutig unterschieden sei. Zudem sei der Fokus bei der Ähnlichkeitsbeschreibung allein auf die Form und die Funktion gelegt. Mit „Gegenstände mit einem in der Regel hohen Anteil identischer Komponenten, die Ähnlichkeiten in Bezug auf mindestens eines der Merkmale Geometrie, Material oder Technologie aufweisen“ (Lingnau, 1994, S. 24) schließt er immaterielle Güter und im Allgemeinen Varianten hinsichtlich der Funktionen aus. Franke et al. (2002) differenzieren Produkt- und Prozessvarianten aufgrund der Anzahl an unterschiedlichen Beziehungen und Elemente des betrachteten technischen Systems gegenüber einem referenzierten technischen System. Die Unterscheidung zwischen Produktvarianten erfolgt auf Basis funktioneller und struktureller Merkmale, wohingegen die Unterscheidung zwischen Prozessvarianten auf den beanspruchten Unternehmensressourcen beruht. Als Beispiele für Prozessvarianten sind unterschiedliche Bearbeitungsschritte im Fertigungsablauf genannt, wodurch neben dem Produkt an sich, auch technische Systeme (z.B. Fertigungs-, Dispositionsverfahren) der Organisation eine Rolle spielen. Zudem ist mit der Generalisierung in Bezug auf technische Systeme eine Definition nicht nur auf Erzeugnisebene, sondern auch auf Bauteil- und Komponentenebene geschaffen. (Franke et al., 2002, S. 12) Arnold et al. (2011) greifen diesen Aspekt auf und bringen zusätzlich die Ursache einer Variante und den zeitlichen Aspekt einer Variante am Markt mit ein: „Im Extremfall verlangt der Markt, dass dem Kunden die Möglichkeit geboten wird, Produkte speziell für seine Anforderungen zu konfigurieren. Diese Varianten des Produktes besitzen ähnliche Strukturen, die sich lediglich in einigen Baugruppen oder Bauteilen unterscheiden. So sind [...] Varianten zeitlich parallel gültige Produktbestandteile.“ (Arnold et al., 2011, S. 82). Buchholz und Souren (2008) nehmen an, dass „... die Abgrenzung der Varianten und ihrer Zuordnung zu einer Produktart [...] subjektiv und relativ (aus Sicht des Betrachters für eine konkrete betriebliche Leistungserstellung und in einem konkreten Planungszusammenhang).“ (Buchholz & Souren, 2008, S. 6) erfolgt.

Aus den Definitionen gehen verschiedene Aspekte hervor, die bei der Begriffsdefinition zu berücksichtigen sind. Dazu zählen neben dem Produktzweck, der Systemebenen (Erzeugnis, Baugruppe, Bauteil, Komponente) und der Ursache, auch die Sichten der Stakeholder und die Zeit am Markt. In Fallstudien (Peglow et al., 2017) wurden diese Aspekte untersucht und eine Systematik zur Differenzierung von Varianten entwickelt, mit der Varianten auf Basis charakterisierender Merkmale und abhängig von der Sicht des Stakeholders unterschieden werden können. Charakterisierende Merkmale sind die Zulässigkeit hinsichtlich der Übernahme von Strukturelementen und hinsichtlich der Anpassung von Elementen des Referenzsystems²⁹

²⁹ vgl. Kap. 2.1.3.3: Erläuterungen zum Referenzsystem der PGE - Produktgeneration-entwicklung

(z.B. Produktions- und Validierungsprozesse). Die Motivation zur Entwicklung einer Variante (z.B. Produktindividualisierung, Marktverdrängung) ist zudem ein charakterisierendes Merkmal. Ein weiteres wesentliches Merkmal ist die Existenz und die Verfügbarkeit eines Basis-Referenzprodukts am Markt. (Peglow et al., 2017) Dieses ist nach Peglow et al. (2017) auf Basis des Modells der PGE – Produktgenerationsentwicklung³⁰ nach Albers, Rapp, Spadinger, Richter, Birk, Marthaler, Heimicke, Kurtz und Wessels (2019b) wie folgt definiert.

Basis-Referenzprodukt

Das Basis-Referenzprodukt ist das Referenzprodukt einer [Produktgeneration], von der die überwiegende Anzahl an Teilsystemen aus Ziel- und Objektsystem sowie Strukturelementen (z.B. Funktions-, Baustruktur) übernommen oder diese als Grundlage für Variationen verwendet werden. Diese Teilsysteme und Strukturelemente des Basis-Referenzprodukts sind Elemente des Referenzsystems der Produktgeneration.

Der vorliegenden Arbeit liegt die folgende Definition für eine Variante nach Peglow et al. (2017) zugrunde, die für Varianten auf Basis des Modells der PGE – Produktgenerationsentwicklung für den Zeitraum nach Markteinführung und unter Verwendung der charakterisierenden Merkmale aufgestellt ist. (Peglow et al., 2017)

Variante

Eine Variante ist eine [Produktgeneration], die einen hohen ÜV-Anteil zu ihrem Varianten-Referenzprodukt aufweist. Diese unterliegen demselben Produktgenerationszyklus und existieren weitgehend parallel am Markt. Das Varianten-Referenzprodukt ist somit eine spezielle Form des Basis-Referenzprodukts. Die Variante ist zu ihrem Varianten-Referenzprodukt durch eine differente Ausprägung der charakterisierenden Merkmale abgegrenzt, um individuellen Kunden- und Marktanforderungen gerecht zu werden sowie um Wettbewerbsvorteile zu generieren. Im Gegensatz zu Varianten hat jede [Produktgeneration] vorwiegend das Ziel, einen existierenden Produktgenerationszyklus am Markt abzulösen und einen neuen Zyklus aufzuspannen.

In Zusammenhang mit der großen Anzahl an Modellen und Varianten wird häufig der Begriff *Variantenvielfalt* verwendet. Nach Buchholz und Souren (2008) steht der Begriff Variantenvielfalt für „die Anzahl und den Grad der Unterschiedlichkeit der in

³⁰ vgl. Kap. 2.1.3.3

einer durch verschiedene Eigenschaften charakterisierten Produktart enthaltenen Produktvarianten.“ (Buchholz & Souren, 2008, S. 14). In diesem Zusammenhang klassifiziert Heina (1999) die Variantenvielfalt auf Erzeugnis-, Baugruppen- und Teileebene, wobei die Erhöhung der Variantenvielfalt auf Erzeugnisebene Erhöhungen der Variantenvielfalt auf den untergeordneten Systemebenen zufolge haben kann (Heina, 1999, S. 7). Die interne Vielfalt bezieht sich auf die Vielfalt der Erzeugnisse, Baugruppen und Teile im Unternehmen, die zur Herstellung der angebotenen Vielfalt erforderlich sind. Die externe Vielfalt sind die Varianten auf Erzeugnisebene, die der Kunde unter anderem hinsichtlich der Leistung, des Designs und der Ausstattung auswählen kann. (Ehrlenspiel, 2009, S. 662; Zenner, 2006, S. 52–53)

Nach Rathnow (1993) dient das Variantenmanagement im Unternehmen dazu, das optimale Kosten-Nutzen-Verhältnis der Variantenvielfalt zu planen, zu realisieren und zu kontrollieren. Dafür ist zum einen die Variantenstrategie notwendig, die den Rahmen für das operative Management festlegt. Zum anderen ist das operative Management für die nachhaltige Realisierung der strategischen Ziele verantwortlich. (Rathnow, 1993, S. 177–180) Innerhalb des Variantenmanagements sind die Informationen über die Kosten- und Nutzenwirkungen für das Management bereitzustellen, sodass strategische und operative Entscheidungen transparent getroffen werden können (Heina, 1999, S. 41). Der Fokus des Variantenmanagements liegt auf den Strategien und den Methoden, mit denen Variantenvielfalt auf verschiedenen Systemebenen vermieden, beherrscht und reduziert werden kann (Kesper, 2012, S. 41–42; Lindemann et al., 2009, S. 31). Nach Raubold (2011) umfasst das Variantenmanagement „das Steuern und Optimieren der Variantenentwicklung und der daraus resultierenden Einflüsse“, das durch einen minimalen Einsatz an Ressourcen sichergestellt wird (Raubold, 2011, S. 30). Schuh und Riesener (2018) fassen den Begriff *Variantenmanagement* zusammen als „die Entwicklung, Gestaltung und Strukturierung von Produkten und Dienstleistungen bzw. Produktsortimenten im Unternehmen“ (Schuh & Riesener, 2018, S. 16) mit dem Ziel „die vom Produkt ausgehende Komplexität (Anzahl Teile, Komponenten, Varianten usw.) wie auch die auf das Produkt einwirkende Komplexität (Marktdiversifikation, Produktionsabläufe usw.) mittels geeigneter Instrumente zu bewältigen“ (Schuh & Riesener, 2018, S. 16).

2.2.2.2 Ursachen der Variantenvielfalt

Die Anzahl an Varianten im Produktportfolio ändert sich mit Verlauf des Produktlebenszyklus. In diesem Zusammenhang unterscheidet Heina (1999) – abhängig vom Zeitpunkt der Variantenentstehung – geplante von ungeplanten Varianten. Geplante Varianten werden bei der Entwicklung einer Produktgeneration im Produktportfolio vorgesehen. Dazu zählen Varianten, die im Produktportfolio berücksichtigt wurden, auch wenn diese erst auf den Markt kommen, nachdem weitere Varianten bereits

auf dem Markt sind. Ungeplante Varianten entstehen während der Marktphase der Produktgeneration aufgrund von unvorhersehbaren Kunden- und Marktanforderungen. (Heina, 1999, S. 12–13) Kesper (2012) differenziert zwischen externen und internen Variantentreibern. Die externen Variantentreiber werden außerhalb des Unternehmens unter anderem durch den Markt, die Gesellschaft und die Politik bestimmt. Die internen Variantentreiber sind von kurzer Dauer und somit beeinflussbar. Den Begriff *Ursache* lehnt er explizit ab, da Ursachen zwangsläufig eine Wirkung implizieren. Im Allgemeinen gehen mit den unternehmensexternen Anforderungen nicht zwangsläufig die Einführung einer Variante einher. (Kesper, 2012, S. 28) Die Bewertung von Varianten ist Kernbestandteil dieser Arbeit, wodurch eine Entscheidung zur Einführung einer Variante vorbereitet wird. Die Entscheidung – unabhängig davon, ob eine Variante eingeführt wird oder nicht – wirkt sich auf die Anforderungen aus, weswegen der Begriff *Ursache* an dieser Stelle Anwendung findet. Franke (1998) hat allgemein die Ursachen aufgelistet, wohingegen Ehrlenspiel (2009) die Ursachen nach den Systemebenen einer Variante klassifiziert hat. Die Ursachen für die externe Variantenvielfalt sind auf der Erzeugnisebene und für die interne Variantenvielfalt auf der Baugruppen- und der Teileebene zu finden (Ehrlenspiel, 2009, S. 662–663). Eine eindeutige Differenzierung sowohl auf den Systemebenen, als auch zwischen unternehmensextern und intern ist zum Teil schwer möglich. Aufgrund dessen sind die Ursachen von Franke (1998), Ehrlenspiel (2009, S. 662–663) und Kesper (2012, S. 29–32) im Folgenden zusammengefasst, verursachungsgerecht kategorisiert und mit Beispielen beschrieben.

Marktinduzierte Varianten resultieren aus den Anforderungen, die unter anderem seitens der Politik, der Wettbewerber, der Gesellschaft und den Kulturen in den Märkten vorgegeben werden: Neue Anwendungen am Markt, zunehmender Wettbewerbsdruck durch Reduktion der Entwicklungszeit und der Herstellungskosten, Verhandlungsmacht der Kunden in Märkten mit vielen Anbietern, politisch bedingte Veränderungen in den Märkten, gesetzliche Auflagen und Normen hinsichtlich der Produktsicherheit und der Umwelt, länderspezifische Gesetze und Regelungen, technologische Innovationen und lange Zeiträume zur Ersatzteilbevorratung und zur Produkthaftung. (Ehrlenspiel, 2009, S. 662; Franke, 1998; Kesper, 2012, S. 29)

Kundeninduzierte Varianten resultieren aus den Anforderungen, die von den Kunden an die Varianten postuliert werden: Zunehmende Leistungsanforderungen der Kunden, kundenspezifische Richtlinien, Gewohnheiten und Vorlieben in verschiedenen Kulturen sowie kundenspezifische Lösungen als Anlass für Neugeschäfte und zeitliche Planungen zur Markteinführung eines Produkts. (Ehrlenspiel, 2009, S. 662; Franke, 1998; Kesper, 2012, S. 29)

Beim Anbieter aus strategischen Intentionen induzierte Varianten resultieren aus den Strategien, die beim Anbieter der Varianten für das Unternehmen festgelegt sind: Strategie der Produktdifferenzierung, Strategie zur Erhöhung der Marktanteile durch diversifiziertes Produktportfolio, zur Sicherung oder Gewinnung von attraktiven Kunden und zur bedarfsgerechten Produktentwicklung durch Vermeidung von Over-Engineering sowie späte Implementierung der Strategie zur Produktstandardisierung. (Ehrlenspiel, 2009, S. 662; Franke, 1998; Kesper, 2012, S. 30–32)

Beim Anbieter aus Kostengründen induzierte Varianten resultieren aus den operativen Maßnahmen, die beim Anbieter der Varianten zur Umsetzung einer Kostenstrategie implementiert werden: Maßnahmen zur Kostenreduktion. (Ehrlenspiel, 2009, S. 662; Franke, 1998; Kesper, 2012, S. 29)

In den Fachbereichen beim Anbieter induzierte Varianten resultieren aus den operativen Aufgaben in den Fachbereichen beim Anbieter der Varianten: Dominanz des Vertriebs bei der Umsetzung der Markt- und Kundenstrategie, umsatzbezogene Anreizsysteme im Management und im Vertrieb, Mangel an Koordination der fachbereichs- und standortübergreifenden Zusammenarbeit, fachbereichs- und standortübergreifende Kommunikationsdefizite, etablierte Vorgehensweisen, fehlendes Bewusstsein und mangelnde Transparenz über die Auswirkungen von Varianten, unzureichende Dokumentation des Regelwerks zur Produktstruktur, konventionelle Kostenkalkulationsverfahren, nicht genutztes Wissen über Produkte, Prozesse und Methoden, Affinität zur Entwicklung neuer Produkte in Ingenieurskulturen sowie fehlender übergeordneter Lenkungsausschuss zur Überwachung und Steuerung der Variantenentstehung. (Ehrlenspiel, 2009, S. 662–663; Kesper, 2012, S. 31)

Beim Anbieter aus organisatorischen Gründen induzierte Varianten resultieren aus den Herausforderungen, die beim Anbieter der Varianten hinsichtlich den organisatorischen Strukturen bestehen: Fehlen von effektiven und schnellen Anwendungssystemen zur Suche von ähnlichen, bestehenden Produktstrukturen und zur Bewertung von neuen Produktstrukturen, mangelnde Transparenz über bestehende Ergebnisse, Baugruppen und Komponenten, fehlende fachbereichsübergreifende Zugriffsmöglichkeit auf relevante Inhalte auf verschiedenen Datenspeichern und mangelnde Vernetzung von Anwendungssystemen und abweichende Inhalte auf verschiedenen Datenspeichern. (Ehrlenspiel, 2009, S. 662–663; Kesper, 2012, S. 31)

2.2.2.3 Auswirkungen von Variantenvielfalt

Varianten können Auswirkungen auf alle Phasen des Produktentwicklungsprozesses haben (Seram, 2013), wobei Rathnow (1993) zwischen Nutzenwirkungen und

Kostenwirkungen unterscheidet. Das Ziel eines Unternehmens müsse sein, eine optimale Variantevielfalt zu identifizieren, zu planen und zu steuern. Dabei ergibt sich die optimale Variantevielfalt durch die größte, positive Differenz zwischen Nutzen und Kosten mit Hilfe einer Kosten-Nutzen-Analyse. (Rathnow, 1993, S. 44) Durch die Befriedigung der Kundenbedürfnisse in Form von kundenspezifischen Varianten kann die Kundenzufriedenheit gesteigert werden. Das wirkt sich wiederum positiv auf die Absätze des Unternehmens aus. (Rücker et al., 2014, S. 209; Schuh & Riesener, 2018, S. 30) Neben dem Kunden- und dem Anbieternutzen, resultieren aus einer zunehmenden Variantevielfalt auch mögliche Kosten sowohl beim Kunden, als auch in allen Fachbereichen beim Anbieter, die in der Wertschöpfungskette involviert sind (Abbildung 2.13).



Abbildung 2.13: Auswirkungen von Variantevielfalt auf die Wertschöpfungskette (Heina, 1999, S. 24)

Kostenwirkungen beim Kunden sind zum Beispiel, dass kundenspezifische Varianten eine höhere Entwicklungszeit implizieren können. (Schuh & Riesener, 2018, S. 32) Kostenwirkungen beim Anbieter sind unter anderem in der Entwicklung festzustellen. Bei der Anfertigung der Zeichnungen sind die verschiedenen Kombinationsmöglichkeiten von Baugruppen und Bauteilen zu beachten, die zu einer steigenden Komplexität und somit zu einem längeren Konstruktionsprozess führen können. Mehraufwände entstehen vor allem zur Verwaltung, zur Dokumentation und zur Pflege von Datensätzen. Dazu zählt die nachhaltige Übertragung von technischen Änderungen auf alle technischen Zeichnungen der betroffenen Varianten. (Franke et al., 2002, S. 5–7) Durch eine steigende Variantevielfalt können die geforderten Stückzahlen sinken, wodurch zusätzliche Dispositionsaufwände für Zukaufteile und sinkende Mengenrabatte für den Einkauf zu erwarten sind. (Franke et al., 2002,

S. 5–7; Schuh & Riesener, 2018, S. 32–34) Eine weitere Folge kann der benötigte Platz an den Fertigungslinien und in den Lagerhallen für steigende Sicherheits- und Mindestbestände sein. (Franke et al., 2002, S. 5–7; Rücker et al., 2014, S. 209; Schuh & Riesener, 2018, S. 32–34) Insbesondere in der Fertigung und in der Montage ist mit Kostenwirkungen zu rechnen (Rücker et al., 2014, S. 209), die sich in der Planung und dem Aufbau sowie dem Kapitaleinsatz neuer Anlagen, Maschinen und (Spezial-)Werkzeugen widerspiegeln. Dadurch resultiert zusätzlicher Aufwand in der Arbeits-, Fertigungs-, Montage- und Werkzeugplanung, das die Entwicklungsdauer einer Variante erhöhen kann. Um Montagefehler zu vermeiden, sind Vorkehrungen an den Fertigungslinien zu installieren. Durch geringere Stückzahlen steigt die Häufigkeit der Rüstvorgänge in der Fertigungsausführung. Zudem können für Varianten unterschiedliche Prozessschritte in der Fertigung und in der Montage notwendig sein, wodurch die Komplexität bei der Kapazitätsplanung der Fertigungslinien und bei der Fertigungssteuerung gesteigert wird. (Franke et al., 2002, S. 5–7; Kesper, 2012, S. 36–40)

Rathnow (1993) weist daraufhin hin, dass die Wirkungen einer Variante in Wechselwirkung mit weiteren Varianten stehen können. Zudem sei zu beachten, dass Varianten gegebenenfalls gemeinsame Ressourcen nutzen. (Rathnow, 1993, S. 50) Zu den gemeinsam genutzten Ressourcen zählen beispielsweise die bestehenden Einrichtungen in der Fertigung und in der Montage. Auf Basis des Modells der PGE – Produktgenerationsentwicklung nach Albers, Bursac et al. (2015) kann eine Variante somit Auswirkungen auf die bestehenden Elemente des Referenzsystems³¹ der Variante haben. (Peglow et al., 2019) Bei der Entstehung einer neuen Variante existieren die Elemente des Referenzsystems der Variante unabhängig voneinander. Zusammen bilden die Variante und die referenzierten Elemente als Teilsysteme ein Gesamtsystem (Albers, Peglow et al., 2018). In einer Fallstudie (Albers, Peglow et al., 2018) wurde untersucht, inwiefern die Herausforderungen eines solchen System-of-Systems³² bei der Variantenentstehung ausgeprägt sind (Albers, Peglow et al., 2018) (Tabelle 3). Die Komplexität wird durch Unsicherheiten und häufig wechselnde Kundenanforderungen erhöht, die sich beispielsweise aus Zeitdruck zur Einführung einer neuen Variante, schwankenden Angaben zu Stückzahlen, Änderungen bei den Auftragsdaten und neue, zu integrierende technische Lösungen ergeben. (Buck, 2009)

³¹ Da auf Basis des Modells der PGE – Produktgenerationsentwicklung eine Variante als eine Produktgeneration verstanden wird (Kapitel 2.2.2.1), trifft die Charakterisierung des Referenzsystems einer Produktgeneration (Kapitel 2.1.3.3) an dieser Stelle zu.

³² vgl. Kap. 2.1.1.1: Definition System-of-Systems

Tabelle 3: Herausforderungen bei der Variantenentstehung (Albers, Peglow et al., 2018)

	Herausforderung	Ausprägung
1	Ein System-of-Systems besteht aus unabhängig voneinander existierenden Teilsystemen.	Varianten sind unabhängige Teilsysteme mit einem unterschiedlichen Neuentwicklungsanteil innerhalb eines Produktgenerationszyklus.
2	Die Zielsysteme der Teilsysteme können gegensätzlich zu dem Zielsystem des System-of-Systems sein.	Varianten können Auswirkungen auf Elemente des Referenzsystems der Variante haben (z.B. Auswirkungen auf die Produktion und die Logistik), die auch Elemente des Referenzsystems einer weiteren Variante sein können.
3	Viele verteilte Stakeholder können bei der Entwicklung von Teilsystemen involviert sein.	Im Falle eines globalen Produktionsnetzwerks können weltweit verteilte Kunden, Lieferanten und Mitarbeiter des Unternehmens verschiedener Standorte in der Produktentstehung von Varianten involviert sein.
4	Teilsysteme können in verschiedenen Phasen im Produktlebenszyklus sein.	Varianten sind unter anderem das Ergebnis von Änderungsprozessen, wie der Erweiterung oder der Weiterentwicklung eines Referenzprodukts.
5	Die Entwicklung eines System-of-Systems ist niemals abgeschlossen.	Bei der Produktentwicklung einer Variante sind dynamische Änderungen zu berücksichtigen, die sich unter anderem aus Kundenanforderungen ergeben.
6	Teilsysteme können ein verschiedenes Maß an Heterogenität aufweisen.	Bei der Produktentwicklung einer Variante haben alle involvierten Entwicklerteams Fachwissen in deren Fachbereich. Es ist schwierig zu gewährleisten, dass alle Involvierten einen Einblick in jedes Detail erhalten.

2.2.3 Umgang mit Variantenvielfalt in der Produktentstehung

Im Umgang mit Variantenvielfalt existieren verschiedene Ansätze, die im Folgenden unterteilt sind in die Strategien (Kapitel 2.2.3.1) und in die Ansätze im Umgang mit Variantenvielfalt (Kapitel 2.2.3.2). Ausgewählte Informationstechnologien im Umgang mit Variantenvielfalt sind in Kapitel 2.2.3.3 vorgestellt.

2.2.3.1 Strategien im Umgang mit Variantenvielfalt

Im Folgenden sind der Strategiebegriff nach Porter (1996) beschrieben. Der Strategiebegriff dient als Grundlage der Grundrichtungen einer Variantenstrategie.

Porter (1996) hat unterschiedliche Strategien zur Positionierung eines Unternehmens im Wettbewerbsumfeld bestimmt, die an den Kunden- und dem Anbieternutzen auszurichten sind. Er führt die generischen Strategien hinsichtlich der Kostenführerschaft und der Produktdifferenzierung an. (Porter, 1996) Abhängig von der gewählten Wettbewerbsstrategie nach Porter (1996) gibt es nach Heina (1999) vier Grundrichtungen für Variantenstrategien: Variantenvermeidung, Variantenbeherrschung, Variantengenerierung und Variantenreduzierung (Heina, 1999, S. 40). Entsprechend der Grundrichtung können verschiedene, unterstützende Aktivitäten implementiert werden, die alle nachfolgenden Phasen des Produktlebenszyklus einer Produktgeneration in unterschiedlichem Maße beeinflussen. Die Aktivitäten zur Variantenvermeidung und zur Variantengenerierung kommen vorwiegend in der Produktentstehungs- und in der Marktphase einer Produktgeneration zur Anwendung. (Heina, 1999, S. 42) Dabei dienen die Aktivitäten zur Variantenvermeidung dazu, dass Varianten entlang der Wertschöpfungskette nicht zugelassen werden (Kesper, 2012, S. 41). Nach Schmid (2009) ist die Variantenvermeidung in der Variantenplanung inkludiert. Mit den dazugehörigen Aktivitäten sollen nicht erfolgsversprechende Varianten auf allen Systemebenen vorausgeplant und somit vermieden werden (Schmid, 2009, S. 41). Kesper (2012, S. 42) spezifiziert die Grundrichtung Variantengenerierung durch einen *gezielten* Einsatz an Aktivitäten. Die Variantengenerierung findet bei Schmid (2009) keine explizite Anwendung. Die Aktivitäten zur Variantenbeherrschung und zur Variantenreduzierung sind zumeist auf die Markt- und die Entsorgungsphase eines Produkts bezogen (Heina, 1999, S. 42). Um die Variantenvielfalt innerhalb des Produktlebenszyklus effektiv und effizient zu steuern, sind die Aktivitäten zur Variantenbeherrschung heranzuziehen. Die Aktivitäten zur Variantenreduzierung unterstützen bei der Beseitigung von Varianten aus dem Produktportfolio. (Kesper, 2012, S. 42) Da Varianten innerhalb eines Produktgenerationszyklus³³ ein komplexes System³⁴ darstellen, können die Managementstrategien hinsichtlich eines zielgerichteten Umgangs mit komplexen Systemen nach Lindemann et al. (2009) herangezogen werden. Die drei Managementstrategien sind: Generierung und Bewertung, Vermeidung und Reduktion, Handhabung und Beherrschung. (Lindemann et al., 2009, S. 30)

2.2.3.2 Ansätze im Umgang mit Variantenvielfalt

Das operative Variantenmanagement dient dazu innerhalb der definierten strategischen Ziele die Variantenvielfalt auf Basis von Kosten-Nutzen-Analysen kurz- und

³³ vgl. Kap. 2.2.2.1: Definition einer Variante auf Basis des Modells der PGE - Produktgenerationsentwicklung

³⁴ vgl. Kap. 2.2.2.3: Herausforderungen im Umgang mit Varianten in Zusammenhang mit dem Gesamtsystem der Variantenentwicklung

mittelfristig zu planen und zu überwachen. Dazu zählt die Koordination der Zusammenarbeit mit den Fachbereichen (z.B. Vertrieb, Entwicklung, Fertigung, Montage, Einkauf, Produktmanagement), die von der Variantenvielfalt betroffen sind. (Heina, 1999, S. 41; Schmid, 2009, S. 42) In der industriellen Praxis wird der Mehrwert von einzelnen Varianten im Produktportfolio oftmals zu spät oder gar nicht hinterfragt (Albers & Herrmann, 2002). Infolgedessen soll die Variantenvielfalt durch einen kontinuierlichen Überwachungsprozess – beispielsweise aufgrund von sich ändernden Kundenanforderungen – dynamisch gesteuert werden. (Heina, 1999, S. 41; Schmid, 2009, S. 42)

Für ein erfolgreiches und nachhaltiges Variantenmanagement sind operative Ansätze notwendig, um einen zielgerichteten Umgang mit Variantenvielfalt sicherzustellen. Zur Umsetzung der Ansätze sind Aktivitäten mit gezielten Methoden zu definieren, die unter anderem abhängig vom zeitlichen Horizont und der Phase im Produktlebenszyklus sind. Zudem ist zu unterscheiden, ob mit den Aktivitäten und den Methoden die Variantenvielfalt geplant, analysiert, bewertet, kontrolliert oder optimiert beziehungsweise über Varianten entschieden werden soll. (Franke et al., 2002, S. 13; Heina, 1999, S. 41) In der Literatur (Franke et al., 2002, S. 13–22; Schmid, 2009, S. 42) werden hauptsächlich vier Ansätze mit entsprechenden Aktivitäten und Methoden vorgestellt.

Für den ersten **Ansatz hinsichtlich der Produktstruktur** gibt es unterschiedliche Beschreibungen. Beispielsweise spricht Franke et al. (2002) von einer Produktstruktur, die markt- und montagegerecht zu gestalten ist (Franke et al., 2002, S. 20). Schmid (2009) benennt eine variantenoptimierende Produktentwicklung, bei der die Variantenplanung und die Variantenbeherrschung im Fokus stehen (Schmid, 2009, S. 41). Kipp und Krause (2007) beschreiben eine variantengerechte Produktgestaltung und -strukturierung, um die Aufwände in der Produktentwicklung gering zu halten (Kipp & Krause, 2007). Die Aktivitäten und Methoden zur Produktstrukturierung sind von der Ausrichtung des Produktportfolios (Produktdifferenzierung oder Produktstandardisierung) abhängig (Franke et al., 2002, S. 20). Beispielhafte Aktivitäten und Methoden sind nach Herrmann und Seilheimer (2002), Kipp und Krause (2007), Franke et al. (2002, S. 15), Albers, Scherer et al. (2015) und Albers, Reiß, Bursac und Richter (2016): Durch Verwendung von gleichen Baugruppen und Teilen in verschiedenen Varianten einen hohen Übernahmeanteil und somit eine geringe Entwicklungszeit ermöglichen, durch die Berücksichtigung von Wissen aus der Entwicklung der Strategie, des Produktions- und des Validierungssystems eine variantengerechte Produktstruktur in der Validierung, der Montage, der Eigen- und der Fremdfertigung realisieren, durch Standardisierungsmethoden die Produktstruktur variantengerecht systematisieren.

Zu den Standardisierungsmethoden zählen die Baureihenbauweise, die Plattformbauweise, die modulare Bauweise und Baukästen als Regelwerk zur Produktstrukturierung. (Albers, Scherer et al., 2015) Baureihen sind „technische Gebilde (Maschinen, Baugruppen oder Einzelteile), die dieselbe Funktion mit der gleichen Lösung, in mehreren Größenstufen, bei möglichst gleicher Fertigung in einem weiten Anwendungsbereich“, umfassen (Pahl et al., 2005, S. 600). Mit der *Baureihenbauweise* wird das Ziel verfolgt, durch Standardisierung der Teile über definierte Größenstufen die Anwendungsmöglichkeiten auszuweiten (Ehrlenspiel, 2009, S. 671). Albers, Scherer et al. (2015) und Bursac (2016) haben eine Baureihe definiert als „mehrere technische Systeme, die eine ähnliche Produktarchitektur aufweisen. Die jeweiligen technischen Systeme unterscheiden sich dabei durch die Ausprägung einzelner Attribute, die durch Skalieren variiert werden.“ (Bursac, 2016, S. 52). Bei der *Plattformbauweise* werden Varianten „nicht grundsätzlich durch Konfiguration von mehreren vorausgedachten Bausteinen zusammengesetzt.“ (Pahl et al., 2005, S. 658). Nach Albers, Scherer et al. (2015) und Bursac (2016) ist eine Plattform „die Menge jener Subsysteme, die in unterschiedlichen technischen Systemen unverändert zum Einsatz kommt. Der Hut hingegen umfasst die restlichen Subsysteme, die in den unterschiedlichen technischen Systemen die Menge aller Funktionen oder Attribute variieren.“ (Albers, Scherer et al., 2015; Bursac, 2016, S. 49). Die *modulare Bauweise* kann als modulare Systemarchitektur mit relativ autonomen Subsystemen verstanden werden (Göpfert, 1998, S. 3). Nach Göpfert (1998) kann ein Modul „als ein spezielles Subsystem definiert werden, dessen interne Beziehungen sehr viel stärker ausgeprägt sind als die Beziehungen zu anderen Subsystemen und das von Veränderungen auf höheren und niedrigeren Systemebenen weitgehend unabhängig ist.“ (Göpfert, 1998, S. 30). Albers, Scherer et al. (2015) und Bursac (2016) verstehen unter einem Modul „ein technisches Subsystem, das sich durch andere technische Subsysteme ersetzen lässt, so dass die Menge aller Funktionen oder Attribute des technischen Systems variiert wird.“ (Albers, Scherer et al., 2015; Bursac, 2016, S. 49). Ein *Baukasten* umfasst die Möglichkeiten zur „Kombination festgelegter Einzelteile und/oder Baugruppen“, um eine geforderte Variante zusammenstellen zu können (Pahl et al., 2005, S. 634). Albers, Scherer et al. (2015) und Bursac (2016) spezifizieren die Definition eines Baukastens als „die Menge aller technischen Subsysteme, die dem zugehörigen Baukasten-Regelwerk folgen, mit dem Ziel, aus diesen Subsystemen technische Systeme mit jeweils unterschiedlicher Menge aller Funktionen konfigurieren zu können.“ (Albers, Scherer et al., 2015; Bursac, 2016, S. 53).

Der zweite **Ansatz** bezieht sich auf eine **variantengerechte Entwicklung von Prozessen und Fertigungstechnologien**. Der Ansatz nach Schmid (2009) fokussiert eine variantengerechte Produktionsgestaltung zur Variantenplanung und -beherrschung (Schmid, 2009, S. 41). Franke et al. (2002) legen den Schwerpunkt zum

einen auf die Standardisierung zur Beherrschung und zur Reduzierung von Variantenvielfalt und zum anderen auf flexible Produktions- und Abwicklungsprozesse (Franke et al., 2002, S. 20–21). Kipp und Krause (2007) befürworten die Gestaltung von variantenorientierten Prozessen (Kipp & Krause, 2007). Beispielhafte Aktivitäten und Methoden zur Flexibilisierung sind nach Garrel (2013), Franke et al. (2002, S. 20–21), Reinhart und Cisek (2013), Westkämpfer (2013a), Meier et al. (2013) und Uhlmann (2013): Durch Modularisierung der technischen Systeme und der Prozesse Abläufe in der Produktion und in der Montage systematisieren, durch Modularisierung von Dienstleistungen einen schnellen und gezielten Zugriff auf relevante Informationen aus den Fachbereichen realisieren, durch eine hybride Kombination von Fertigungsverfahren die Fertigungsanlagen auf wechselnde Fertigungsprozesse auslegen, durch Flexibilisierung (z.B. Just-in-Time, Prozessstandardisierung, Fertigungsnivellierung, Schnellrüstverfahren, standardisierten Kennzahlen) die Balance zwischen einem stabilen und einem flexiblen Produktionssystem realisieren.

Der dritte **Ansatz hinsichtlich der Integration von Kennzahlen** dient der systematischen Unterstützung von variantenbedingten Entscheidungen. Sofern es sich um die Bewertung von Auswirkungen der Variantenvielfalt handelt, wird zumeist die Kostenkalkulation angesprochen. In diesem Zusammenhang wird die Prozesskostenrechnung in der Regel als geeigneter (Pfohl & Stölzle, 1991; Schuh & Baessler, 2009) zur Variantenplanung, -reduzierung und -beherrschung (Schmid, 2009, S. 41) als konventionelle Kostenkalkulationsverfahren angesehen. Bei konventionellen Kostenkalkulationsverfahren werden die Gemeinkosten in Form von pauschalen Zuschlagssätzen berücksichtigt. Bei der Prozesskostenrechnung liegt der Fokus auf der verursachungsgerechten Identifizierung der Kosten in den betroffenen Fachbereichen (z.B. Entwicklung, Fertigung, Einkauf, Logistik, Verpackung). (Pfohl & Stölzle, 1991; Schuh & Baessler, 2009) Aus der umfänglichen Integration der Fachbereiche resultiert die Kritik an der Prozesskostenrechnung hinsichtlich des hohen zeitlichen Aufwands und des hohen Informationsbedarfs aus den Fachbereichen (Pfohl & Stölzle, 1991). Da mit den Kostenkalkulationsverfahren unterschiedliche Ziele verfolgt werden (Pfohl & Stölzle, 1991), schlägt Franke et al. (2002) die gezielte Auswahl der Verfahren zur Kostenkalkulation und Kostenschätzung vor (Franke et al., 2002, S. 21). Beispielhafte Aktivitäten und Methoden sind nach Reckenfelderbäumer (1998, S. 28–29), Pfohl und Stölzle (1991), Franke et al. (2002, S. 21), Schuh und Baessler (2009), Herrmann und Seilheimer (2002) und Westkämpfer (2013a): Durch Einführung eines Kennzahlensystems eine fachbereichsbegleitende Kostenschätzung für die interne Variantenvielfalt realisieren, durch Einführung von gezielten Kennzahlen eine effiziente Grundlage zur Berechnung der Variantenkosten schaffen, durch eine fundierte Variantenkostenkalkulation die Basis zur Ausrichtung des Produktportfolios schaffen, durch regelmäßige Analyse variantenbedingter und kostenverursachender Prozesse die hauptsächlichen

Ursachen für Variantenvielfalt identifizieren sowie die Transparenz und die Effizienz von Prozessen entlang der Wertschöpfungskette erhöhen.

Der vierte **Ansatz** bezieht sich auf **die zu verwendenden Informationstechnologien und die organisatorischen Strukturen** im Unternehmen. Franke et al. (2002) beschreiben die Aktivitäten und Methoden als „Hilfsmittel für das Variantenmanagement“ (Franke et al., 2002, S. 21). Schmid (2009) deutet die Verwendung von Produktkonfiguratoren³⁵ zur Variantenbeherrschung und zur -reduzierung an (Schmid, 2009, S. 41). Die organisatorischen Aktivitäten und Methoden werden gegenüber neuen Informationstechnologien aus kurzfristiger Sicht als aufwandsärmer, schneller und effektiver eingeschätzt (Franke et al., 2002, S. 22). Beispielhafte Aktivitäten und Methoden sind nach Rathnow (1993, S. 49), Franke et al. (2002, S. 22), Westkämpfer (2013a) und Rücker et al. (2014): Durch Einführung von Anreizsystemen eine Variantenvermeidung begünstigen, durch eine konsequente Einbindung eines Lenkungsausschusses Variantenentscheidungen frühzeitig unterstützen, durch fachbereichsübergreifende Teams und Besprechungen sowie durch klare Verantwortlichkeiten eine nachvollziehbare und transparente Variantenentstehung ermöglichen, durch Einführung von gezielten Methoden und Datenverarbeitungssystemen variantenbedingte Entscheidungen und Entscheidungsprozesse unterstützen, durch Einbindung von informationstechnologischen Systemen variantenbedingte Prozesse frühzeitig planen und steuern.

2.2.3.3 Informationstechnologien im Umgang mit Variantenvielfalt

Infolge der Digitalisierung³⁶ gewinnen Informationstechnologien im industriellen Umfeld zunehmend an Bedeutung. Die fachbereichsspezifische, fachbereichs- und unternehmensübergreifende (gegenüber beispielsweise Lieferanten und Kunden) Zusammenarbeit kann durch den gezielten Einsatz von Informationstechnologien frühzeitig und durchgängig in einer verteilten Entwicklungsumgebung unterstützt werden. Durch eine virtuelle Produktentwicklung können das Produktwissen erhöht und die Beziehungen zwischen den Baugruppen und Bauteilen visualisiert werden. Die Bewertung der monetären und technischen Aufwände kann mit Hilfe von digitalisiertem Produkt-, Produktions- und Prozesswissen sowie dem Zugriff auf alle relevanten Informationen transparenter werden. (Eigner, 2009; Franke et al., 2002, S. 22) Zum Beispiel existieren informationstechnologische Systeme, die bei der Administration von Produktdaten und von Konstruktionsprozessen (z.B. Computer Aided Design) sowie bei der Fertigungsplanung und Fertigungssteuerung (z.B.

³⁵ vgl. Kap. 2.2.3.3: Erläuterungen zu Produktkonfigurationen und zu Produktkonfiguratoren

³⁶ vgl. Kap. 2.2.1.2: Bedeutung von Megatrends für die Produktentwicklung

Computer Aided Manufacturing) unterstützen. Für weitere Informationen zu diesen Systemen sei an dieser Stelle auf weiterführende Literatur verwiesen (vgl. Eigner, 2009). Explizit für den Umgang mit Variantenvielfalt sind im Folgenden unterstützende Informationstechnologien vorgestellt.

Die **Produktkonfiguration** ist ein generischer Suchprozess zur Zusammenstellung einer Variante auf Basis definierter Produktmerkmale, die durch Produktstrukturregeln miteinander verknüpft sind. Mit den Produktstrukturregeln wird die Produktstruktur inklusive der funktionalen Kombinationsmöglichkeiten der Baugruppen und Komponenten festgelegt. Dadurch können keine neuen Varianten auf Baugruppen- und Komponentenebene erzeugt und keine Wirkzusammenhänge zwischen den Baugruppen und den Komponenten modifiziert werden. Das Ergebnis des Suchprozesses ist zum einen eine Variante, die die Kundenanforderungen unter Berücksichtigung der Rahmenbedingungen zur Produktstruktur erfüllt. Zum anderen geht daraus eine Liste mit der Art und der Anzahl an benötigten Komponenten innerhalb der Variante hervor. (Aldanondo & Vareilles, 2008; Sabin & Weigel, 1998) Ein **Produktkonfigurator** ist eine Software zur Produktkonfiguration, in der die Produktstrukturregeln wissensbasiert abgebildet sind (Aldanondo & Vareilles, 2008).

METUS ist eine von der ID-Consult GmbH entwickelte Informationstechnologie mit Fokus auf modulare Produktarchitekturen. Die Software wird in Beratungsprojekten unterschiedlicher Industriezweige eingesetzt, mit dem Ziel, den Umgang mit Variantenvielfalt in der frühen Phase der Produktentwicklung zu unterstützen. Produktrelevante Informationen unter anderem hinsichtlich den Anforderungen, den Funktionen und den Kosten werden in einem System abgelegt und miteinander verknüpft. Zudem werden Kosten transparent visualisiert und Kennzahlen sowie Berichte automatisiert generiert, sodass auf Basis dessen die Variantenvielfalt analysiert und geplant werden kann. (Göpfert & Tretow, o.J.)

LOOME0 ist eine Sammlung an verschiedenen Apps. Diese Apps werden von der Redpoint.Teseon AG vertrieben und in Beratungsprojekten eingesetzt. Zweck der Apps sind die Analyse und die Visualisierung von erfassten Produktdaten. Diese basieren auf dem Prototyp mit dem initialen Namen MOFLEPS (modeling flexible product structures), der zur Visualisierung von Produktstrukturen in Form von Matrizen und Graphen entwickelt wurde (Maurer et al., 2005). Mit den Apps wird die unternehmensinterne und unternehmensexterne Zusammenarbeit sowie die Analyse und der Umgang mit Variantenvielfalt unterstützt. Eine Wissenslandkarte bietet die Möglichkeit bestehendes Wissen zu dokumentieren. Mit Hilfe einer graphischen Darstellung der Zeitplanung können strategische Entscheidungen zur Einführung einer neuen Variante erleichtert werden. (Redpoint.teseon, 2018, 2019)

Der **Complexity Manager** ist eine Informationstechnologie der Schuh & Co. GmbH und wird für Beratungsprojekte mit Industrieunternehmen eingesetzt. Im Wesentlichen beruht der Complexity Manager auf den Darstellungen in Form eines Merkmalbaums und eines Variantenbaums³⁷. Der Merkmalbaum unterstützt bei der Visualisierung der Anforderungen seitens des Marktes sowie der Kunden und der Variantenbaum bei der Visualisierung der unternehmensspezifischen Produktstruktur. Durch die Verknüpfung der Bäume gelingt es, die Marktsicht in die Unternehmenssicht zu überführen. Mit Fokus auf die Variantenkosten können darauf aufbauend neue Varianten geplant und bestehende Varianten analysiert werden. Durch eine anschließende monetäre Bewertung wird eine Entscheidungsgrundlage über die Einführung einer Variante geschaffen. (Schuh & Co., 2015)

Der **iViP-Komplexitätsassistent** und der **iViP-Variantenmanager** gehen in Form eines Prototyps aus dem Teilprojekt 3.4 des Leitprojekts „integrierte Virtuelle Produktentstehung“ (iViP) hervor, das von der Projektträgerschaft Produktion und Fertigungstechnologien (PFT) und dem Forschungszentrum Karlsruhe GmbH durchgeführt sowie von dem Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) gefördert wurde. Der iViP-Komplexitätsassistent ist ein Assistenzsystem, mit dem der Anwender zwischen verschiedenen Methoden wechseln kann ohne das System zu verlassen. Zudem sind methodenübergreifende Definitionen, Kontaktdaten und Literaturquellen enthalten. Der iViP-Variantenmanager ist eine Methodensammlung für das Variantenmanagement. Informationen zur Produktstruktur können eingegeben, gepflegt und analysiert werden. Drei Hauptfunktionalitäten des iViP-Variantenmanagers unterstützen bei der Konfiguration von Varianten, der Darstellung der Variantenvielfalt und der monetären Bewertung der konfigurierten Varianten. (Ehinger et al., 2002)

EmcienMix und **EmcienPattern** wurden von Emcien, Inc. entwickelt, um Verkaufsdaten zu analysieren und auf Basis des Kaufverhaltens der Kunden das Produktportfolio zu optimieren. EmcienMix unterstützt die effiziente Steuerung von Bestellvorgängen, indem dem Verkaufsteam vorkonfigurierte Varianten unter Berücksichtigung von Verfügbarkeit, dem Gewinn und der höchsten Übereinstimmung mit den Kundenanforderungen vorgeschlagen werden. (Emcien Corp., 2017) Mit Hilfe von EmcienPattern werden wissensbasierte Daten analysiert, wodurch Prognosen für das Kaufverhalten realisierbar sind. (Marsten et al., 2019)

VAMOS (Variantenmanagement und -optimierungssystem) wurde in Zusammenarbeit mit Gedas – einer Tochtergesellschaft des Volkswagen-Konzerns – entwickelt,

³⁷ vgl. Kap. 2.3.3.1: Erläuterungen zum Merkmal- und zum Variantenbaum

um die Gesamtkosten von Variantenvielfalt entlang des Produktlebenszyklus zu bewerten. Mit der Informationstechnologie können einzelne Baugruppen und Bauteile modellübergreifend in Form von Variantenbäumen grafisch abgebildet werden. (VDI nachrichten, 2005) Durch die Visualisierung können die Kosten weniger, untersuchter Kostentreiber transparent dargestellt und die Gesamtkosten der Variantenvielfalt auf Basis der Verknüpfungen der Einzelkosten abgeleitet werden. (Automobil-Produktion, 2005)

2.2.4 Erkenntnisse zur Variantenvielfalt in der automobilen Zulieferindustrie

Seit einigen Jahrzehnten stehen die Automobilbauer und die automobilen Zulieferer den Herausforderungen gesättigter Fahrzeugmärkte gegenüber, die durch stetig sinkende Entwicklungszeiten und zunehmenden Kostendruck charakterisiert sind³⁸. Zudem ist insbesondere in der automobilen Zulieferindustrie der Megatrend *Produktindividualisierung* erkennbar, der gemeinsam mit dem Megatrend *Globalisierung* zu einem Anstieg der Komplexität im Umgang mit Variantenvielfalt führt. Gleichzeitig können Informationstechnologien – als Resultat des Megatrends *Digitalisierung* – einen transparenten Umgang ermöglichen³⁹. Die wirtschaftliche Situation der automobilen Zulieferindustrie verdeutlicht den Bedarf an einem systematischen Umgang mit Variantenvielfalt von Produkten des Dieselmärkte⁴⁰. In der Literatur identifizierte Maßnahmen sind insbesondere auf die Verkürzung der Entwicklungszeiten, auf effiziente und transparente unternehmensinterne Prozesse sowie auf den Ausbau von anwenderfreundlichen Informationstechnologien zur Bereitstellung von benötigtem Produkt-, Prozess- und Methodenwissen bezogen.

Für einen systematischen Umgang mit Variantenvielfalt müssen die Ursachen und die Auswirkungen von Variantenvielfalt verstanden werden. Die Ursachen von Variantenvielfalt können verursachungsgerecht kategorisiert werden⁴¹. Dazu zählen marktinduzierte (z.B. gesetzliche Auflagen), kundeninduzierte (z.B. kundenspezifische Lösungen), strategieinduzierte (z.B. Produktdifferenzierung) und kosteninduzierte (z.B. Kostenreduktion) Varianten. Insbesondere die fachbereichsinduzierten und die organisationsinduzierten Varianten bieten Anknüpfungspunkte, um einen

³⁸ vgl. Kap. 2.2.1.1: Strukturwandel in der automobilen Zulieferindustrie

³⁹ vgl. Kap. 2.2.1.2: Bedeutung der Megatrends für die automobilen Zulieferindustrie

⁴⁰ vgl. Kap. 2.2.1.3: Wirtschaftliche Situation in der automobilen Zulieferindustrie

⁴¹ vgl. Kap. 2.2.2.2: verursachungsgerechte Kategorisierung von Ursachen der Variantenvielfalt

systematischen Umgang bereits bei der Entstehung einer Variante zu gewährleisten. In Zusammenhang mit dem Modell der PGE – Produktgenerationsentwicklung spielt das Wissen über existierende Produkte, Prozesse und Methoden eine elementare Rolle im Produktentwicklungsprozess⁴². Weiterhin können Kommunikationsdefizite und mangelnde Transparenz im Entwicklungsprozess durch Informationstechnologien zur Definition von Verantwortlichkeiten (inklusive eines Lenkungsausschusses), zur Kosten-Nutzen-Bewertung von Varianten hinsichtlich den Elementen des Referenzsystems der Variante und zur Bereitstellung eines gemeinsamen Datenspeichers unterstützen.

In den Beschreibungen zum Umgang mit Variantenvielfalt wird hauptsächlich der Umgang in der Produktentstehungsphase einer Produktgeneration angesprochen⁴³. Eine Variantenentstehung wird berücksichtigt, sofern Varianten zu der festgelegten Produkt- und Produktionsstruktur sowie zu den aufgestellten Anforderungen passen. Die in Unternehmen gewählten Variantenstrategien basieren meistens auf einer zu groß wahrgenommenen Variantenvielfalt in den Produktportfolien der industriellen Praxis. Zumeist konzentrieren sich Unternehmen darauf, wie Varianten eliminiert, beherrscht und / oder vermieden werden können. Kesper (2012) befürwortet hinsichtlich des strategischen Variantenmanagements die Grundrichtung *Variantengenerierung*, da neue Varianten durch realisierbare Kombinationsmöglichkeiten bestehender Baugruppen und Teile wirtschaftlich sein können (Kesper, 2012, S. 33). Die Einführung von unvorhersehbaren Varianten in der Marktphase birgt für Unternehmen erfolversprechende Potentiale, weswegen das Potential dieser Varianten in der Marktphase gegenüber ihrem Varianten-Referenzprodukt⁴⁴ zielgerichtet zu bewerten ist. Durch die Einführung einer Variante wird der Produktlebenszyklus der Variante initiiert und die Variante existiert parallel zum Varianten-Referenzprodukt am Markt. Dabei stellt sich die Frage, ob eine Variante auf Basis einer Kosten-Nutzen-Analyse *generiert* oder *vermieden* werden soll. Unter Berücksichtigung der bestehenden Varianten als Elemente des Referenzsystems der betrachteten Variante kann dadurch die Variantenvielfalt *beherrschbarer* – hinsichtlich eines zielgerichteten Umgangs mit Variantenvielfalt – werden.

⁴² vgl. Kap. 2.1.3: Bedeutung von existierenden (technischen) Systemen in der Produktentwicklung

⁴³ vgl. Kap. 2.2.3.1

⁴⁴ vgl. Kap. 2.2.2.1: Begriffsdefinition

2.3 Die Frühe Phase der PGE – Produktgenerationsentwicklung

Der Fokus der vorliegenden Arbeit liegt auf der frühen Phase der Produktentwicklung. Die Frühe Phase ist in Kapitel 2.3.1 beschrieben. Ausgewählte Ansätze des Projektmanagements in der Frühen Phase sind in Kapitel 2.3.2 und ausgewählte Methoden zur Bewertung von Varianten in der Frühen Phase sind in Kapitel 2.3.3 vorgestellt.

2.3.1 Die Frühe Phase der Produktentwicklung

Die Merkmale und die Risiken der frühen Phase sind in Kapitel 2.3.1.1 erläutert. Die Frühe Phase ist in Kapitel 2.3.1.2 und die Angebotsphase ist in Kapitel 2.3.1.3 definiert.

2.3.1.1 Merkmale und Risiken der frühen Phase

In der frühen Phase der Produktentwicklung sind eine große Anzahl an Stakeholder mit verschiedenen Interessen (Kihlander & Ritzén, 2009) in mehreren Entscheidungen hinsichtlich des weiteren Projektverlaufs involviert (Büyüközkan & Feyzioglu, 2004). Entscheidungen haben weitreichende Konsequenzen, da Investitionen erst in nachfolgenden Phasen getätigt werden (Heising, 2012) und der Nutzen erst nach einem längeren Zeitraum erkennbar wird (Büyüközkan & Feyzioglu, 2004). Somit beeinflusst jede Entscheidung nicht nur das Produktdesign und die anschließende Phase, sondern auch alle weiteren Phasen des gesamten Produktlebenszyklus (Riel et al., 2013; Seram, 2013; Verworn, 2005, S. 3).

Aufgrund der in der Regel geringen Strukturierung und der hohen Unsicherheiten wird die frühe Phase der Produktentwicklung in der englischsprachigen Literatur auch als „fuzzy front end“ (Heising, 2012; Jetter, 2005; Khurana & Rosenthal, 1997; Riel et al., 2013) bezeichnet. Zudem ist in der Literatur die Bezeichnung „front end of innovation“ (Koen et al., 2001; Verworn, 2009) zu finden, die in Zusammenhang mit einer Produktinnovation auf Basis einer Neukonstruktion⁴⁵ nach Pahl et al. (2005) steht. Ebenfalls ist in der Literatur oftmals beschrieben, dass aus mehreren Produktideen diejenige auszuwählen ist, zu der ein Produktkonzept entwickelt werden soll (Albar & Jetter, 2011; Büyüközkan & Feyzioglu, 2004). In der Praxis hat sich gezeigt, dass zumeist nicht zwischen mehreren Produktideen ausgewählt wird,

⁴⁵ vgl. Kap. 2.1.3.1: Erläuterungen zu dem Begriff Innovation und den Konstruktionsarten

sondern – beispielsweise aufgrund begrenzter personeller Kapazitäten – nur eine technische Lösung entwickelt wird (Kihlander & Ritzén, 2009). Unabhängig davon, ob es sich um eine binäre Entscheidung⁴⁶ (Seram, 2013) oder um eine Lösungsauswahl⁴⁷ handelt, müssen die betroffenen Entwicklerteams beim Anbieter eines Produkts Entscheidungssituationen für die verantwortlichen Entscheider auf Basis einer Kosten-Nutzen-Analyse fundiert und transparent vorbereiten. Dabei werden Entscheidungen beispielsweise hinsichtlich dem Produktdesign, dem Fertigungskonzept und der Erprobung (Seram, 2013) bereits während des gesamten Prozesses auf allen Hierarchieebenen (Büyüközkan & Feyzioglu, 2004) und zum Teil auf informelle Art getroffen (Kihlander & Ritzén, 2009). Der Entscheidungsprozess unterliegt dynamischen Änderungen der Anforderungen (Büyüközkan & Feyzioglu, 2004), weswegen es sich nicht um einen sequentiellen Prozess handelt (Kihlander & Ritzén, 2009). Neben den zukünftigen Änderungen hinsichtlich der Produktgestalt, sind auch die damit verbundenen Auswirkungen auf die bestehenden Technologien zu berücksichtigen (Jetter, 2005). Der Abgleich von Kosten und Nutzen wird durch verschiedene Merkmale der frühen Phase erschwert (Büyüközkan & Feyzioglu, 2004), wodurch potentielle Risiken entstehen können (Lin & Chen, 2004) (Tabelle 4).

Tabelle 4: Merkmale und potentielle Risiken der frühen Phase

Merkmale	Potentielle Risiken
<ul style="list-style-type: none"> • Das Zielsystem ist oft mangelhaft definiert, wird von vielen, verschiedenen Stakeholdern unterschiedlich interpretiert, unterliegt einer hohen Unsicherheit und dynamischen Änderungen (Büyüközkan & Feyzioglu, 2004; Campos & Henriques, 2017; Lin & Chen, 2004; Seram, 2013; Wynn et al., 2011) • Der Prozess ist in der Regel wenig strukturiert und formalisiert (Riel et al., 2013; Verworn, 2005, S. 32) 	<ul style="list-style-type: none"> • Die zukünftige Marktsituation kann falsch eingeschätzt sein (Verworn, 2009) • Die Markteinführung einer technischen Lösung kann verspätet erfolgen (Khurana & Rosenthal, 1997) • Der Abgleich der technischen Lösung mit der Unternehmensstrategie kann verspätet erfolgen (Khurana & Rosenthal, 1997) • Die Unternehmensführung kann verspätet involviert werden (Heising, 2012) • Technische Lösungen können ineffektiv und suboptimal sein (Cagan & Vogel, 2005) • Qualitätsmängel können bei der Entwicklung der technischen Lösung auftreten (Verworn, 2009)

⁴⁶ Binäre Entscheidung: Entscheidung für oder gegen eine Produktidee ohne dabei weitere Produktideen zu betrachten

⁴⁷ Lösungsauswahl: Entscheidung für eine Produktidee bei Betrachtung mehrerer Produktideen

- Daten sind meist ungenau, widersprüchlich und wenig dokumentiert (Verworn, 2005, S. 32; Wynn et al., 2011)
- Die Kommunikation ist im Allgemeinen informell (Verworn, 2005, S. 32)
- Informationen sind oftmals qualitativ, unvollständig, nicht verfügbar und nicht verifiziert (Albar & Jetter, 2011; Campos & Henriques, 2017; Kihlander, 2011; Lin & Chen, 2004)
- Bewertungen der Auswirkungen sind qualitativ (Büyüközkan & Feyzioglu, 2004; Kihlander, 2011)
- Verantwortlichkeiten können nicht eindeutig definiert sein (Riel et al., 2013; Verworn, 2005, S. 32)
- Personelle Kapazitäten können verplant sein (Khurana & Rosenthal, 1997)
- Entwicklungsmethoden können nicht korrekt, nicht vollständig und nicht passend eingesetzt sein (Campos & Henriques, 2017; Wynn et al., 2011)
- Geplante Kosten und Zeitpläne können nicht der tatsächlichen Umsetzung entsprechen (Cagan & Vogel, 2005)

2.3.1.2 Die Frühe Phase der PGE – Produktgenerationsentwicklung

Mit verschiedenen Aktivitäten (Kihlander, 2011; Verworn, 2009) werden Produktideen in der frühen Phase in ein herstellbares Produktkonzept überführt (Riel et al., 2013; Seram, 2013), um ein konkretes Produkt und das dazugehörige Projekt zu definieren (Kihlander, 2011). In der Literatur sind unterschiedliche Ansätze zu finden, wie die frühe Phase strukturiert und definiert werden kann. Aktivitäten wie die Entwicklung, die Generierung, die Bewertung, die Auswahl und der Vergleich von Ideen und Konzepten werden teilweise als Synonyme, teilweise als sequentielle Aktivitäten und teilweise als Subaktivitäten einer Gesamtentwicklungsaktivität verstanden (Kihlander & Ritzén, 2009).

Für einen Überblick der unterschiedlichen Beschreibungsansätze hat Bursac (2016) die Spezifika zusammengefasst (Tabelle 5).

Darüber hinaus definiert Verworn (2005) die frühe Phase der Produktentwicklung als "alle Aktivitäten vom ersten Impuls bzw. einer sich ergebenden Gelegenheit für ein neues Produkt bis zur Go-No-Go-Entscheidung zur Umsetzung des Produktkonzeptes und somit Aufnahme der eigentlichen Entwicklung des Produktes" (Verworn, 2005, S. 15). Ein Konzept oder ein Produktkonzept werden in dieser Arbeit im Sinne eines Entwurfs als Teil des Zielsystems⁴⁸ verstanden.

⁴⁸ vgl. Kap. 2.1.2.2

Tabelle 5: In der Literatur identifizierte Spezifika der frühen Phase (Bursac, 2016)

Autor	Spezifikum	Visualisierung
Khurana & Rosenthal, 1997	Finanzierung und Start der Produktentwicklung auf Basis einer „Go / No-Go“-Entscheidung	<p style="text-align: center;">Go / No-Go</p> 
Koen et al., 2001	Alle Aktivitäten vor dem Beginn des formalen und strukturierten Produktentwicklungsprozesses	
Jetter, 2005	Brücke zwischen der strategischen Produktplanung und der Produktentwicklung	
Muschik, 2011	Zeitraum von der Initiierung eines Projektes bis zur Formulierung einer ersten Produktspezifikation	<p style="text-align: center;">Initiierung Produktspezifikation</p> 

Nach Kihlander und Ritzén (2009) zählen zu der frühen Phase die Entwicklung von Konzepten und die Auswahl eines Konzepts. Die frühe Phase endet mit der Entscheidung über das ausgewählte Konzept, das weiterentwickelt werden soll. (Kihlander & Ritzén, 2009) Die frühe Phase umfasst nach Khurana und Rosenthal (1997) die Definition des Produktkonzepts, die Produktbewertung, die Produktdefinition und die Projektplanung. Eine binäre ja-/nein-Entscheidung schließt die Phase ab. (Khurana & Rosenthal, 1997) Koen et al. (2001) postulieren, dass die Aktivitäten der frühen Phase im Vergleich zur nachfolgenden, strukturierten Phase situationsadäquat und nicht sequentiell durchgeführt werden (Koen et al., 2001). Dieses iterative Durchlaufen von Aktivitäten wird von Jetter (2005) bestätigt, der das Ziel der frühen Phase in der Reduzierung der Unsicherheit vor dem eigentlichen Start der Produktentwicklung sieht (Jetter, 2005, S. 3). Nach Heising (2012) startet die frühe Phase mit der Ideengenerierung und wird mit einer formalen Entscheidung hinsichtlich einer Produkt- und einer Projektdefinition und den benötigten Ressourcen beendet. Er unterscheidet zwischen den Aktivitäten der Ideengenerierung, der Bewertung und der Auswahl sowie der Aufbereitung der vorgeschlagenen Produktkonzepte. (Heising, 2012)

Aus den Beschreibungsansätzen geht insbesondere hervor, dass die frühe Phase mit einer Entscheidung hinsichtlich einer bewerteten technischen Lösung endet und dass der Entscheidung eine Ideengenerierung und eine Bewertung vorausgehen muss. Darauf aufbauend haben Bursac (2016, S. 45) und Albers, Rapp et al. (2017)

die „Frühe Phase“ auf Basis des Modells der PGE – Produktgenerationsentwicklung wie folgt definiert.

Die Frühe Phase auf Basis des Modells der PGE – Produktgenerationsentwicklung

Die „Frühe Phase“ der Produktgenerationsentwicklung ist eine Phase im Entwicklungsprozess einer neuen Produktgeneration, die mit der Initiierung eines Projektes beginnt und mit einer bewerteten technischen Lösung endet, die schließlich das initiale Zielsystem hinsichtlich seiner wesentlichen Elemente abdeckt. Die zur technischen Lösung gehörende Produktspezifikation als Teil des Zielsystems enthält u.a. Informationen bzgl. der verwendeten Technologien und Subsysteme sowie deren Übernahme- und Neuentwicklungsanteile. Sie ermöglicht eine valide Bewertung des zu entwickelnden technischen Systems hinsichtlich der relevanten Parameter wie beispielsweise der Produzierbarkeit, der notwendigen Ressourcen oder des technischen und ökonomischen Risikos.

Darüber hinaus verdeutlichen die Beschreibungsansätze, dass die Aktivitäten der frühen Phase in der Literatur unterschiedlich benannt sind. Für ein einheitliches Verständnis ist die Frühe Phase auf Basis des Modells der PGE – Produktgenerationsentwicklung in vier wesentliche Aktivitäten mit entsprechenden Meilensteinen unterteilt. Darüber hinaus muss nach Albers, Rapp et al. (2017) und nach Albers, Heitger et al. (2018) an den Meilensteinen und insbesondere am Ende der Frühen Phase ein validierbares Artefakt vorliegen. Beispiele für validierbare Artefakte sind ein Prototyp, eine Simulation oder auch ein Referenzprodukt mit postulierter Variation. Die Frühe Phase unterliegt einem projektspezifischen Maß an Flexibilität, das mit Hilfe des ASD-Ansatzes⁴⁹ bestimmt werden kann. In Abbildung 2.14 ist die Frühe Phase auf Projektebene dargestellt, wobei die Aktivitäten der Produktentstehung⁵⁰ zwischen den Meilensteinen sequentiell oder iterativ durchlaufen werden können. (Albers, Heimicke & Spadinger, 2019)

Nach Albers, Rapp et al. (2017), Albers, Heitger et al. (2018) und Albers, Peglow et al. (2019) zählen zu den wesentlichen Aktivitäten die Entwicklung des Produktprofils der G_n , die initiale Bewertung des Produktprofils der G_n , die technische, strategische und ökonomische Bewertung des Zielsystems der G_n und das Management des

⁴⁹ vgl. Kap. 2.1.2.3: Auswahl des Maßes an Flexibilität durch ASD auf verschiedenen Prozessebenen

⁵⁰ vgl. Kap. 2.1.2.2

Projekts für die G_n . Diese sind im Folgenden mit den in der Literatur beschriebenen Aktivitäten erläutert.



Abbildung 2.14: Die Frühe Phase der PGE - Produktgenerationsentwicklung nach Albers, Rapp et al. (2017), Albers, Heitger et al. (2018), Albers, Peglow et al. (2019)

Der erste Schritt umfasst nach Khurana und Rosenthal (1997) unter anderem die initiale Identifikation von Kundenbedürfnissen und die Analyse der Wettbewerbssituation eines Produktkonzepts (Khurana & Rosenthal, 1997). Koen et al. (2001) beschreiben dies als die Identifizierung von Ideen für neue Produktentwicklungsmöglichkeiten (Koen et al., 2001). Nach Jetter (2005) beinhaltet der Vorschlag für ein neues Produkt die Beschreibung der Produktfunktionen (Jetter, 2005, S. 92–94). Verworn (2005) spricht von einer ersten Ideensammlung (Verworn, 2005, S. 22). Albers, Heitger et al. (2018) betiteln diesen Schritt als die **Entwicklung des Produktprofils der G_n** (Albers, Heitger et al., 2018), wobei das Produktprofil nach Albers, Heimicke, Walter et al. (2018) wie folgt definiert ist.⁵¹

Produktprofil

Ein Produktprofil ist ein Modell eines Nutzenbündels, das den angestrebten Anbieter-, Kunden- und Anwendernutzen für die Validierung zugänglich macht und den Lösungsraum für die Gestaltung einer Produktgeneration explizit vorgibt.

Ein Nutzenbündel wird als eine Gesamtheit aus Produkten und Dienstleistungen verstanden, welches mit dem Zweck erstellt wird, an einen Kunden verkauft zu werden und für ihn direkt oder indirekt – z.B. für von ihm berücksichtigte Anwender oder für seine Kunden – Nutzen zu stiften.

⁵¹ vgl. Kap. 2.3.2.3: Modellierung eines Produktprofils

Im zweiten Schritt wird nach Khurana und Rosenthal (1997) das Produkt durch Ausarbeitung des Produktkonzepts definiert (Khurana & Rosenthal, 1997). Nach Koen et al. (2001) werden die identifizierten Entwicklungsmöglichkeiten unter anderem hinsichtlich der Marktattraktivität beurteilt und eine konkrete Produktidee wird spezifiziert (Koen et al., 2001). Jetter (2005) formuliert dies als die Ideenauswahl (Jetter, 2005, S. 92–94) und Verworn (2005) als die Ideenbewertung und -auswahl (Verworn, 2005, S. 22). Albers, Heitger et al. (2018) benennen diesen Schritt als die **initiale Bewertung des Produktprofils der G_n** (Albers, Heitger et al., 2018). An dieser Stelle wird der Begriff *Bewertung* aus Kapitel 2.1.1.3 aufgegriffen, der für diese Arbeit in Anlehnung an Albers, Matros et al. (2015) wie folgt definiert ist.

Bewertung

Bewertung sind Aktivitäten der Produktentstehung zur Überprüfung der Konsistenz des Zielsystems einer G_n hinsichtlich der Elemente des Referenzsystems der G_n aus Sicht der Stakeholder. Die Bewertung kann subjektiv auf Basis persönlicher Empfindungen oder objektiv mit Hilfe von Zahlenwerten erfolgen.

Mit der initialen Bewertung sind die unterschiedlichen Ziele der G_n zu spezifizieren, die sich unter anderem aus den Elementen des Referenzsystems der G_n ergeben. Die Variationsarten⁵² der technischen Subsysteme sind zu konkretisieren. Dabei sind die funktionalen Anforderungen zu berücksichtigen und potentielle Zielkonflikte hinsichtlich der Produkteigenschaften, Produktfunktionen und der technischen Subsysteme zu identifizieren. (Albers, Heitger et al., 2018)

Khurana und Rosenthal (1997) verstehen die Berücksichtigung der Auswirkungen des Produkts auf die Wertschöpfungskette als Teil der Produktdefinition (Khurana & Rosenthal, 1997). Koen et al. (2001) zählen zu der Ideenauswahl die Bestimmung der benötigten Ressourcen, die Beurteilung der technischen und marktseitigen Risiken sowie die finanzielle Bewertung (Koen et al., 2001). Jetter (2005) betitelt dies als Produktkonzeptfindung. Dabei werden unter anderem die Produktfunktionen und die -gestalt beschrieben und die Herstellbarkeit wird bewertet (Jetter, 2005, S. 92–94). Die Bewertung der Konsistenz des Zielsystems der Produktgeneration G_n hinsichtlich den Elementen des Referenzsystems der Produktgeneration G_n ⁵³ ist als die

⁵² vgl. Kap. 2.1.3.3: Die Variationsarten (ÜV, GV, PV) der PGE – Produktgenerationsentwicklung unterstützen bei der Ermittlung von Entwicklungsrisiken und -potentiale

⁵³ vgl. Kap. 2.1.3.3: Erläuterungen zur Konsistenz des Zielsystems einer neuen Produktgeneration hinsichtlich der Elemente des Referenzsystems der Produktgeneration

technische, strategische und ökonomische Bewertung des initialen Zielsystems der G_n zusammengefasst (Albers, Peglow et al., 2019).

Nach Khurana und Rosenthal (1997) sind bei der Projektdefinition und der Projektplanung die Definition und die Priorisierung von Projektaufgaben eingeschlossen (Khurana & Rosenthal, 1997). Koen et al. (2001) bezeichnen dies als die Konzept- und Technologieentwicklung (Koen et al., 2001). Während der Projektplanung werden nach Jetter (2005) die Aktivitäten, die Ressourcen, die Verantwortlichkeiten und die Termine bestimmt, die zur Herstellung des Produkts benötigt werden (Jetter, 2005, S. 92–94). Verworn (2005) betitelt diesen Schritt als die Projektdefinition (Verworn, 2005, S. 22). Das **Management des Projekts für die G_n** kann mit den Basisaktivitäten der Produktentstehung⁵⁴ des iPeM beschrieben werden (Albers, Peglow et al., 2019).

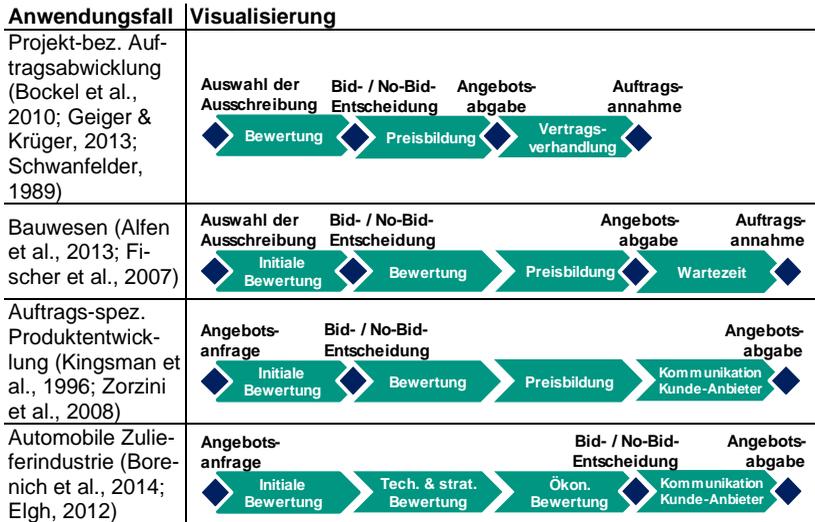
2.3.1.3 Die Angebotsphase von Varianten

Nach der Markteinführung einer Produktgeneration können Kunden beim Anbieter Varianten anfragen, die unter anderem übernommene und neu entwickelte technische Subsysteme aufweisen können (Lindemann et al., 2013; Peglow et al., 2017). Die kundenseitigen Anforderungen werden beim Anbieter in einem mehrphasigen, fachbereichsübergreifenden Entscheidungsprozess iterativ konkretisiert und in eine Produktspezifikation überführt (Kingsman et al., 1996; Langer et al., 2010; Wenzel et al., 2008, S. 69; Zorzini et al., 2008). Dieser Entscheidungsprozess wird in der Literatur als Angebotsprozess (Hvam et al., 2006) oder Angebotsphase (Alfen et al., 2013) bezeichnet und beinhaltet im Allgemeinen eine Angebotsinitiiierung, eine Bewertung und eine Angebotsabgabe. In dieser Arbeit findet die Bezeichnung *Angebotsphase* Anwendung. Bevor der kundenspezifische Preis ermittelt wird, werden die technischen, rechtlichen und marktseitigen Risiken, Potentiale, Fähigkeiten und Kapazitäten für den Anbieter bewertet sowie die Kosten für beispielsweise die Fertigung, das Material und das Personal berechnet (Hvam et al., 2006; Lindemann et al., 2013). Das Angebot umfasst neben der Produktspezifikation und dem Preis, auch die Dauer, die Ziele und die Planung des Projekts (Bockel et al., 2010; Langer et al., 2010).

Abhängig vom Anwendungsfall oder dem Industriezweig sind in der Literatur zum Teil unterschiedliche Benennungen und / oder Reihenfolgen der Aktivitäten für die Angebotsphase zu finden (Tabelle 6).

⁵⁴ vgl. Kap. 2.1.2.2

Tabelle 6: Aktivitäten der Angebotsphase abhängig vom Anwendungsfall oder Industriezweig



Die Beschreibungen nach Geiger und Krüger (2013), nach Schwanfelder (1989) und nach Bockel et al. (2010) sind die Grundlage der visualisierten Aktivitäten der Angebotsphase für die projektbezogene Auftragsabwicklung. Die Angebotsphase im Bauwesen ist ein spezifischer Anwendungsfall der projektbezogenen Auftragsabwicklung. Mit den Beschreibungen von Alfen et al. (2013, S. 253) und von Fischer et al. (2007, S. 9–19) sind die Aktivitäten der dazugehörigen Angebotsphase abgebildet. Kingsman et al. (1996) und Zorzini et al. (2008) haben sich mit der auftragsbezogenen Produktentwicklung beschäftigt. In der Angebotsphase erfolgt nach der Angebotsanfrage noch ein gewisses Maß an Neuentwicklung (Kingsman et al., 1996). In der automobilen Zulieferindustrie können Strategien zur auftragsbezogenen Produktentwicklung zur Anwendung kommen, weswegen die Aktivitäten der Angebotsphase nach Elgh (2012) und nach Borenich et al. (2014) separat für diesen Industriezweig aufgeführt sind. Bei der projektbezogenen Auftragsabwicklung erfolgt, nachdem eine Ausschreibung ausgewählt ist, zu der potentiell ein Angebot erstellt werden soll, die Bewertung der Ausschreibung. Dabei werden die Ziele und die Anforderungen hinsichtlich den personellen Ressourcen, technischen Kapazitä-

ten, Risiken und Kosten definiert und überprüft. In den Beschreibungen ist nicht zwischen einer technischen Risikobewertung und einer Kostenbewertung unterschieden. Mit einer anschließenden Entscheidung wird selektiert, ob ein Angebot für die Ausschreibung erstellt oder nicht erstellt werden soll (Bid- / No-Bid-Entscheidung). Sofern ein Angebot erstellt werden soll, folgt die Preisbildung und die Abgabe des Angebots. Nach etwaigen Vertragsverhandlungen schließt die Angebotsphase mit einem angenommenen oder nicht angenommenen Auftrag. (Bockel et al., 2010; Geiger & Krüger, 2013; Schwanfelder, 1989, S. 140–141) Im Bauwesen sind Aufträge oft öffentlich gefördert und es wird projektbezogen entwickelt. Nach der Auswahl einer Ausschreibung dient eine initiale Bewertung zur Vorbereitung, ob ein Angebot erstellt werden soll oder nicht (Bid- / No-Bid-Entscheidung). Im Falle der Angebotserstellung werden die Risiken eingeschätzt und die Kosten berechnet. Mit einer anschließenden Preisbildung wird ein Angebot erstellt und abgegeben. Nach einiger Zeit erfährt das Unternehmen, ob der Auftrag angenommen wurde. (Alfen et al., 2013, S. 253–254; Fischer et al., 2007, S. 9–19) In Unternehmen, die eine auftragspezifische Produktentwicklung anbieten, geben die Kunden in der Regel allgemeine Produkteigenschaften und Produktfunktionen mit der Angebotsanfrage vor. Auf der Basis entwickelt der Anbieter ein kundenspezifisches Produkt, zu dem ein Angebot erstellt werden soll. Bei einer initialen Bewertung wird überprüft, ob es bekannte Referenzprodukte gibt und wie groß der Neuentwicklungsanteil ist. Mit der darauffolgenden Entscheidung werden nicht lukrative Anfragen selektiert (Bid- / No-Bid-Entscheidung). Wird eine Anfrage weiterverfolgt, werden unter anderem die benötigten Ressourcen und Fähigkeiten sowie das Marktpotential und die Kosten bewertet. Beruhend auf den gewonnenen Informationen wird der Preis kalkuliert, der als Grundlage für nachfolgende Gespräche und mögliche Vertragsverhandlungen zwischen dem Kunden und dem Anbieter dient. Sofern sich beide Parteien einig werden, kommt es zu einer Angebotsabgabe. (Kingsman et al., 1996; Zorzini et al., 2008) In der automobilen Zulieferindustrie können Kunden während der Marktphase eines Produkts individuelle Varianten mit einem benötigten Neuentwicklungsanteil anfragen. Dies entspricht einer auftragsbezogenen Produktentwicklung. Mit der Angebotsanfrage nennt der Kunde dem Anbieter seine Anforderungen an das Produkt. Diese Anforderungen werden bei der initialen Bewertung im Allgemeinen gesichtet. Bei der technischen und strategischen Bewertung überprüfen die involvierten Fachbereiche die Auswirkungen durch die Einführung der Variante. Die Kostenkalkulation und die darauf aufbauende Preisbildung werden in der ökonomischen Bewertung vorgenommen. Beruhend darauf wird entschieden (Bid- / No-Bid-Entscheidung), ob die Gespräche mit dem Kunden zu dem Produkt fortgeführt werden sollen. Einigen sich der Kunde und der Anbieter zu einem Preis sowie zu den Produkt- und den Projektanforderungen, wird dem Kunde ein Angebot unterbreitet. Parallel zu den Gesprächen können schon erste Planungen zu den Fertigungsprozessen beginnen. (Borenich et al., 2014; Elgh, 2012)

Auf Grundlage der Ausführungen in der Literatur haben Walch und Albers (2014) die Angebotsphase für die automobiler Zulieferindustrie auf Basis des Modells der PGE – Produktgenerationsentwicklung beschrieben. Die Definition nach Albers, Peglow et al. (2019) baut auf dieser Beschreibung auf und lautet wie folgt.

Angebotsphase

Die Angebotsphase ist in der automobiler Zulieferindustrie eine spezifische Frühe Phase der PGE – Produktgenerationsentwicklung, die mit der Angebotsanfrage seitens des Kunden beginnt und mit der Angebotsabgabe seitens des Anbieters endet. Das Produktprofil der G_n kann infolge von vorangehendem Wissensaustausch bereits zum Zeitpunkt der Angebotsanfrage definiert sein.

Die wesentlichen Aktivitäten der Angebotsphase entsprechen prinzipiell den wesentlichen Aktivitäten der Frühen Phase⁵⁵. Diese sind in Abbildung 2.15 auf Projektebene abgebildet, wobei das Maß an Flexibilität mit Hilfe des ASD-Ansatzes⁵⁶ projektspezifisch festgelegt werden kann. In der automobiler Zulieferindustrie müssen oftmals unter Zeitdruck Kosten abgeschätzt und Angebote erstellt werden (Borenich et al., 2014). Abweichende Kostenschätzungen, nicht berücksichtigte Auswirkungen auf bestehende Ressourcen und nicht eingehaltene Meilensteine können die Folge sein (Borenich et al., 2014; Kingsman et al., 1996). Abhängig von der Dynamik und der Unsicherheit einer spezifischen Entwicklungssituation können die Aktivitäten der Produktentstehung⁵⁷ zwischen den Meilensteinen in der Angebotsphase sequentiell, iterativ und simultan geplant und durchgeführt werden. Die technische und strategische Bewertung dient mit der Konsistenzüberprüfung des Zielsystems einer Variante hinsichtlich den Elementen des Referenzsystems der Variante als Grundlage für die ökonomische Bewertung, bei der die Kosten kalkuliert werden und der kundenspezifische Preis bestimmt wird. In gemeinsamen Gesprächen zwischen dem Kunden und dem Anbieter wird das konkretisierte Zielsystem der Variante diskutiert, das dann in Form einer Produktspezifikation Teil des Angebots ist. (Albers, Peglow et al., 2019)

⁵⁵ vgl. Kap. 2.3.1.2

⁵⁶ vgl. Kap. 2.1.2.3: Auswahl des Maßes an Flexibilität durch ASD auf verschiedenen Prozessebenen

⁵⁷ vgl. Kap. 2.1.2.1

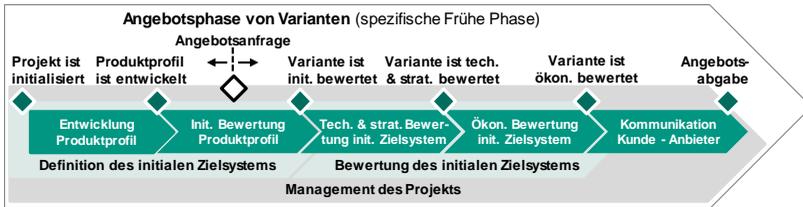


Abbildung 2.15: Angebotsphase von Varianten als spezifische Frühe Phase (Albers, Peglow et al., 2019)

2.3.2 Projektmanagement in der Frühen Phase

Für ein einheitliches Verständnis sind in Kapitel 2.3.2.1 ausgewählte Begriffe des Projektmanagements erläutert. Die Aufgaben eines erfolgreichen Projektmanagements sind in Kapitel 2.3.2.2 und ausgewählte Ansätze eines erfolgreichen Projektmanagements aus der Praxis sind in Kapitel 2.3.2.3 beschrieben.

2.3.2.1 Begriffe des Projektmanagements

Ein *Projekt* ist nach der DIN 69901-5, 2009 ein „Vorhaben, das im Wesentlichen durch Einmaligkeit der Bedingungen in ihrer Gesamtheit gekennzeichnet ist“ (DIN 69901-5, 2009). Madauss (2017) beschreibt ein Projekt als „ein außergewöhnliches Vorhaben“ (Madauss, 2017, S. 4). Das Vorhaben ist durch einen festgelegten Start- und Endzeitpunkt, eine befristete Dauer und aufgrund von Unsicherheit als ein einmaliges, komplexes und neuartiges Vorhaben mit begrenzten materiellen, persönlichen und finanziellen Ressourcen charakterisiert (Holzbaur, 2007, S. 92; Madauss, 2017, S. 5). Zusätzlich zu diesen Kennzeichen führen Felkai und Beiderwieden (2015) weitere Projektmerkmale wie definierte Projektziele und Verantwortlichkeiten sowie eine interdisziplinäre, arbeitsteilige und projektspezifische Projektorganisation an (Felkai & Beiderwieden, 2015, S. 9–11). Aufgrund der projektspezifischen Gegebenheiten sind in der Produktentwicklung Entwicklungsprojekte durch individuelle Problemstellungen⁵⁸ charakterisiert (Albers, 2010; Albers, Heimicke, Spadin-

⁵⁸ vgl. Kap. 2.1.1.3 und Kap. 2.1.2.3: Erläuterungen zu den zentralen Hypothesen der Produktentwicklung und den Prinzipien für Produktentstehungsprozesse

ger et al., 2019). Die Entwicklungsprojekte dienen dazu die entsprechenden Probleme zu lösen, indem ein IST-Zustand in einen gewünschten SOLL-Zustand überführt wird (Albers et al., 2005).

Um den Begriff *Projektmanagement* beschreiben zu können, ist zunächst der Begriff *Management* zu klären. Management bezeichnet nach Keßler und Winkelhofer (2002) „das Erreichen bestimmter Ziele durch Personen, das Sicherstellen von günstigen Rahmenbedingungen und Strukturen im Rahmen von gegebenen Verhältnissen zur Beschaffung und Steuerung des Einsatzes von Ressourcen“ (Keßler & Winkelhofer, 2002, S. 10). Nach Holzbaur (2007) umfasst der Begriff die „Verantwortung für Ergebnisse“ (Holzbaur, 2007, S. 91). Zu den Aufgaben des Managements zählen neben der vorausschauenden und termingerechten Bereitstellung, Festlegung, Steuerung und Koordination von Strategien, Ressourcen und organisatorischen Strukturen, auch die Definition und Nachverfolgung von Aktivitäten, Maßnahmen und Entscheidungen. Ziel ist es, dass das Team die zugeordneten Aufgaben unter Berücksichtigung der bereitgestellten Voraussetzungen und möglichen Iterationen lösen kann. Risikoreiche Situationen sollen dadurch proaktiv vermieden werden. (Holzbaur, 2007, S. 91; Keßler & Winkelhofer, 2002, S. 10). *Projektmanagement* ist das Management, bei dem der Fokus auf der Durchführung von Projekten in einer definierten Zeit, mit definierten Ressourcen, mit einer definierten Vorgehensweise und definierten Projektzielen liegt (Holzbaur, 2007, S. 91; Keßler & Winkelhofer, 2002, S. 10). Nach der DIN 69901-5, 2009 ist das Projektmanagement die „Gesamtheit von Führungsaufgaben, -organisation, -techniken und -mitteln für die Initiierung, Definition, Planung, Steuerung und den Abschluss von Projekten“ (DIN 69901-5, 2009). Ziel des Projektmanagements ist es, zum einen die Projektziele mit geringem finanziellen Aufwand, geringer Unsicherheit und gezielter Führung des Projektteams und der Projektaufgaben zu erreichen (Holzbaur, 2007, S. 91–94; Lechler, 2005). Zum anderen hebt Lechler (2005) die interdisziplinäre Zusammenarbeit und die Zusammenführung verschiedener Interessen(-sgruppen) hervor. Im Vergleich zu einer Einzelprojektführung, bei der ausschließlich ein Projekt im Fokus steht, können bei einer Multiprojektführung mehrere Projekte unter Verwendung von gemeinsam genutzten Ressourcen zur selben Zeit durchgeführt werden. Die Ressourcenzuteilung zu Projekten und die Standardisierung von Abläufen stellt dabei die Hauptherausforderung dar. (Lechler, 2005). Eine spezifische Form der Multiprojektführung ist das *Portfoliomanagement*, das der kontinuierlichen Überprüfung und Aktualisierung des Produktportfolios durch die Bewertung, Auswahl, Priorisierung und Eliminierung von bereits aufgenommenen und neuen Produkten dient (Cooper et al., 1999).

In einem Projekt sind verschiedene Personen(-gruppen) involviert. Dazu zählen die *Stakeholder*, die die „Gesamtheit aller Projektteilnehmer, -betroffenen und -interessierten [darstellen], deren Interessen durch den Verlauf oder das Ergebnis des Projekts direkt oder indirekt berührt sind“ (DIN 69901-5, 2009). Der *Projektleiter* ist für ein Projekt verantwortlich und entscheidet im Allgemeinen über Termine, Kosten, Arbeitspakete, Verantwortlichkeiten und Ressourcen, die einen Bezug zu dem verantwortlichen Projekt haben (Keßler & Winkelhofer, 2002, S. 26). Projektleiter haben spezifische Kenntnisse bei der Koordination und Aggregation von interdisziplinären Teilaufgaben zu einem Gesamtergebnis (Madauss, 2017, S. 5–6). Ein *Projektteam* bezeichnet „alle Personen, die einem Projekt zugeordnet sind und zur Erreichung des Projektzieles Verantwortung für eine oder mehrere Aufgaben übernehmen“ (DIN 69901-5, 2009). Nach Keßler und Winkelhofer (2002) setzt sich ein Projektteam aus einem Kernteam und weiteren Personen zusammen. Das Kernteam umfasst den Projektleiter und die Teammitglieder, die über die Projektdauer konstant am Projekt mitarbeiten. Die weiteren Personen werden für eine bestimmte Dauer oder für bestimmte Aufgaben vom Projektleiter für das Projekt benannt. (Keßler & Winkelhofer, 2002, S. 26) Der *Lenkungsausschuss* ist ein „übergeordnetes Gremium, an das der Projektleiter berichtet und das ihm als Entscheidungs- und Eskalationsgremium zur Verfügung steht“ (DIN 69901-5, 2009). Nach Albers (2010) wird in einem Produktentwicklungsprojekt ein Problemlösungsteam mit der Initiierung eines Problemlösungsprozesses⁵⁹ implementiert. Abhängig von der Problemstellung kann die Teamzusammensetzung im Rahmen der einzelnen Aktivitäten der Problemlösung variieren. (Albers, 2010)

Mit einem Projektauftrag übergibt ein potentieller Kunde dem potentiellen Anbieter eines Produkts ein Lastenheft mit definierten Anforderungen, die hinsichtlich der Widerspruchsfreiheit und der Realisierbarkeit vom Anbieter evaluiert werden (VDI 2519-1, 2001). Entweder das Lastenheft, das Pflichtenheft oder eine kunden- und anbieterseitig erarbeitete Anforderungsliste bilden als Produktspezifikation die Grundlage für eine Ausschreibung, ein Angebot und / oder einen Vertrag (Holzbaur, 2007, S. 154; VDI 2519-1, 2001). Das *Lastenheft* ist eine „vom Auftraggeber festgelegte Gesamtheit der Forderungen an die Lieferungen und Leistungen eines Auftragnehmers innerhalb eines (Projekt-)Auftrags“ (DIN 69901-5, 2009), indem die Anforderungen einer Produktidee dokumentiert sind (Madauss, 2017, S. 108). Enthalten sind die Anforderungen und die Randbedingungen des Anwenders und des Kunden, mit denen definiert wird, wofür was umgesetzt werden soll (VDI 2519-1, 2001). Das *Pflichtenheft* enthält das Lastenheft (VDI 2519-1, 2001) und ist das „vom Auftragnehmer erarbeitete Realisierungsvorhaben auf Basis des vom Auftraggeber

⁵⁹ vgl. Kap. 2.1.2.2: Erläuterungen zu den Aktivitäten der Problemlösung im Rahmen der SPALTEN-Methodik

vorgegebenen Lastenheftes” (DIN 69901-5, 2009). Die anwender- und kundenseitigen Anforderungen werden im Pflichtenheft spezifiziert und durch anbieterseitige Anforderungen zur Realisierung des Produkts erweitert. Damit wird beschrieben, womit und wie die geforderten Anforderungen umgesetzt werden sollen. (Madauss, 2017, S. 143; VDI 2519-1, 2001). Ein Pflichtenheft, das vom Kunden und Anbieter genehmigt ist, gilt als vertragliche Einigung zur Umsetzung eines Projekts (VDI 2519-1, 2001). In der Literatur sind für den Begriff *Pflichtenheft* auch der Begriff *statement of work* und für den Begriff *Lastenheft* auch die Begriffe *Mission Requirement*, *Mission Requirement Document*, *Anforderungskatalog*, *Produktskizze*, *Anforderungs-* oder *Kundenspezifikation* zu finden (Madauss, 2017). Eine *Systemanforderungsspezifikation* (engl. system requirements specification; kurz: SRS) entspricht den Beschreibungen eines Lasten- und eines Pflichtenhefts (ISO/IEC/IEEE 29148, 2018). Nach Albers, Klingler et al. (2013) können mit einem Lasten- und einem Pflichtenheft die Dynamik und die Unsicherheit der Anforderungsdefinition sowie die Wechselwirkungen zwischen den Anforderungen nicht nutzerfreundlich beschrieben werden. Änderungen und Iterationen in der Frühen Phase sind mit einem dynamischen Zielsystem⁶⁰ adequat abbildbar. (Albers, Klingler et al., 2013)

2.3.2.2 Aufgaben eines erfolgreichen Projektmanagements

In der Literatur existieren verschiedene Definitionen eines erfolgreichen Projektmanagements. Der Projekterfolg ist durchweg in Abhängigkeit von mehreren Erfolgsfaktoren in der frühen Phase und in nachfolgenden Phasen der Produktentstehung beschrieben, wobei der Erfolg durch das simultane Wirken unterschiedlicher Erfolgsfaktoren gehemmt oder verstärkt werden kann (Keßler & Winkelhofer, 2002, S. 14–19). Nach der DIN 69901-5, 2009 ist der Projektmanagementerfolg charakterisiert als ein “zusammenfassendes Ergebnis der Beurteilung des Projekts hinsichtlich der Zufriedenheit mit der Abwicklung” (DIN 69901-5, 2009). Der Projekterfolg wird nach Verworn (2009) durch die Effizienz des Projekts und die Gesamtzufriedenheit der Stakeholder bestimmt (Verworn, 2009). Keßler und Winkelhofer (2002) erachten ein Projekt mit der Erreichung der Projektziele unter Wahrung der geplanten personellen, finanziellen und materiellen Ressourcen als erfolgreich (Keßler & Winkelhofer, 2002, S. 14–19). Nach Di Benedetto (1999) erfolgt die Unterscheidung mit Hilfe der Gesamtwirtschaftlichkeit, der wettbewerbsfähigen Ertragsstärke, der Umsätze und dem Marktanteil (Di Benedetto, 1999). Nach Lechler (2005) ist die Einstufung davon abhängig, in welcher Phase das Projekt sich zu dem

⁶⁰ vgl. Kap. 2.1.1.3

Zeitpunkt befindet (z.B. Projektdurchführung, Projektabschluss), welche Projektziele definiert sind, aus welcher Sichtweise (z.B. Kunde, Anbieter) und mit welchen Kennzahlen die Einstufung vorgenommen wird (Lechler, 2005).

Die Grundlage für ein erfolgreiches Projekt bilden die Unterstützung und die Zustimmung der Unternehmensleitung zur Verfolgung einer Produktidee (Cooper & Kleinschmidt, 1998; Riel et al., 2013). Dabei spielen neben einer aufgeschlossenen Unternehmensleitung, auch eine Projektleitung mit formalen Vollmachten und ein Projektteam mit umfangreichem Fachwissen eine bedeutende Rolle (Lechler, 2005). Die Effizienz zeichnet sich durch den Grad der Übereinstimmung zwischen den Meilensteinen des IST- und SOLL-Prozesses sowie den benötigten finanziellen und personellen Ressourcen aus. (Verworn, 2009) Durch eine gute interdisziplinäre Kommunikation und Zusammenarbeit (z.B. Entwicklung, Fertigung, Vertrieb, Marketing, Finanzwesen) (Cagan & Vogel, 2005; Di Benedetto, 1999) sowie durch eine fundierte, initiale Planung in der frühen Phase wird die Effizienz positiv beeinflusst. Unterstützt wird dies, indem die technischen und die Marktunsicherheiten reduziert und somit die Abweichungen (z.B. technische Lösungen, Projektziele, Projektplanung) zwischen der geplanten und der tatsächlichen Produktdefinition geringgehalten werden. (Verworn, 2009) Eindeutige, definierte, verbindliche und transparente organisatorische Strukturen (z.B. Verantwortlichkeiten, Informations- und Kommunikationsfluss, Entscheidungsgremien) (Eriksson et al., 2008; Koen et al., 2001; Lechler, 2005; Riel et al., 2013) bilden die Basis für eine gute Kommunikation und den Umgang mit Unsicherheiten, die sich positiv auf die Gesamtzufriedenheit der Stakeholder auswirken (Verworn, 2009). Für eine effiziente initiale Planung in der frühen Phase (Verworn, 2009) sind verschiedene Stakeholder frühzeitig zu involvieren und Auswirkungen frühzeitig zu bewerten (Campos & Henriques, 2017; Cooper & Kleinschmidt, 1986), sodass die technische und die Marktunsicherheit reduziert werden kann (Verworn, 2009). Informationstechnologische Systeme sowie Erfahrungen mit den Aufgaben, der Technik und den Methoden ermöglichen einen effizienten Datenaustausch und einen gezielten Umgang mit Risiken (Holzbaur, 2007, S. 139; Keßler & Winkelhofer, 2002, S. 16; Rücker et al., 2014). Meilensteine sind terminlich zu fixieren und zu kommunizieren, bei denen der tatsächliche gegenüber dem geplanten Projektfortschritt festgestellt wird (Madauss, 2017, S. 122). Ein neues Produkt wird vor allem am Markt erfolgreich sein, wenn ein optimales Verhältnis von Kunden- (z.B. einzigartig, kundenorientiert) und Anbieternutzen (z.B. gewinnbringend, wettbewerbsfähig) zum Aufwand (z.B. Ressourcen, Fähigkeiten) realisiert wird (Büyükköçkan & Feyzioglu, 2004; Cooper & Kleinschmidt, 1998). Ein Markt mit großem Wachstumspotential und wenigen Wettbewerbern bildet dafür die Voraussetzung (Cooper & Kleinschmidt, 1998). Entscheidende und untereinander abhängige Faktoren wie die Mitarbeitermotivation, die Unternehmensgröße, die Unternehmenskultur, die Unternehmensstrategie und die Wettbewerbssituation bilden

langfristig den Projektrahmen und sind somit schwer beeinflussbar (Holzbaur, 2007, S. 19; Jetter, 2005, S. 89; Khurana & Rosenthal, 1997; Kihlander & Ritzén, 2009; Koen et al., 2001; Verworn, 2005, S. 34). Hemmende Erfolgsfaktoren können strategiebedingte und weniger fachliche Entscheidungen, zu wenige Projektablehnungen, mangelnde Fähigkeiten des Projektteams, fehlende Ressourcen, wenig aussagekräftige Methoden, ein hoher Zeitdruck sowie inflexible und aufgrund von Bürokratie starre Entscheidungsprozesse sein (Cooper, 1999; Cooper et al., 2001)

Auf Basis der Erfolgsfaktoren lassen sich die Aufgaben des Projektmanagements ableiten, die den Hauptfunktionen der Projektplanung, -überwachung und -steuerung zugeordnet werden können. Die *Projektplanung* beinhaltet die Klärung, die Analyse und die Definition der Projektziele und der Aufgabenstellung (Ehrlenspiel, 2009, S. 213; Felkai & Beiderwieden, 2015, S. 76; Keßler & Winkelhofer, 2002, S. 233–234). Die Identifikation, die Modellierung, die Analyse und die Spezifizierung der Anforderungen sowie deren Wechselwirkungen (ISO/IEC/IEEE 29148, 2018; Neuseibeh & Easterbrook, 2000) spielen unter anderem für die Erstellung des Angebots (Felkai & Beiderwieden, 2015, S. 281) und für die Projektdurchführung eine essentielle Rolle. Verschiedene Modellierungsansätze (z.B. Modellierungssprachen) und die Szenariotechnik⁶¹ können bei der Modellierung und der Analyse von Anwendungsfällen zur Informationsgewinnung beitragen (ISO/IEC/IEEE 29148, 2018; Neuseibeh & Easterbrook, 2000). Auf Basis der Anforderungen sind die Projektaufgabe zu strukturieren, der Aufbau einer benötigten Infrastruktur (z.B. Informationssysteme) zu koordinieren und das Projektteam zu benennen. Darauf aufbauend ist die Projektdurchführung zu planen, indem unter anderem ein Projektstrukturplan inklusive Meilensteine, Finanzierung, benötigter Ressourcen und prognostizierter Kosten erarbeitet und freigegeben wird. Die *Projektüberwachung* dient der Kontrolle des Projekts von der Initiierung über die Realisierung bis zum Projektabschluss. Ziel ist es, kontinuierlich Abweichungen vom SOLL-Prozess⁶² durch zum Beispiel regelmäßige Projektkalkulationen, Termin- und Projektzielüberwachungen zu identifizieren. Die *Projektsteuerung* umfasst alle Aktivitäten zur Ausrichtung des Projekts, sodass der Projektplan eingehalten oder sogar übererfüllt werden kann. Dies ist realisierbar durch die Kommunikation von klaren Arbeitspaketen und von Projekteilenergebnissen. Zu den Aufgaben zählen die Verhandlungen des Angebots, die zielgerichtete Koordination der Realisierbarkeitsuntersuchungen sowie der Konzepterarbeitungen für das Produktdesign, das Lösungsprinzip und die Validierungsaktivitäten. (Ehrlenspiel,

⁶¹ vgl. Kap. 2.3.2.3

⁶² vgl. Kap. 2.1.2.2: Erläuterungen zu Referenz-, SOLL-; IST-Prozess

2009, S. 213–214; Felkai & Beiderwieden, 2015, S. 4–5; Keßler & Winkelhofer, 2002, S. 122–128)

2.3.2.3 Ansätze eines erfolgreichen Projektmanagements

Ein erfolgreiches Projektmanagement⁶³ berücksichtigt eine gezielte Auswahl an Modellen für eine interdisziplinäre Zusammenarbeit und an Techniken zur Modellierung von Informationsprozessen und Abhängigkeiten unter Einbezug von adäquaten Methoden (Keßler & Winkelhofer, 2002, S. 16). Im Folgenden sind Ansätze für eine interdisziplinäre Zusammenarbeit und zur Modellierung von Anforderungen, Abhängigkeiten und Prozessen aufgezeigt, die sich in der Praxis bewährt haben.

Ein weitverbreiteter Ansatz für eine interdisziplinäre Zusammenarbeit ist die Strategie des **Simultaneous Engineering**. Bereits in der frühen Phase sollen durch ein konsequentes Projektmanagement die am Produktlebenszyklus beteiligten Fachbereiche bei der Entwicklung und Erstellung eines Produkts mit dazugehörigen Entscheidungen involviert werden, um Entwicklungsrisiken frühzeitig zu erkennen und zu vermeiden (Albers, 1994). Zusätzlich sollen die Entwicklungsphasen gezielt parallelisiert werden, mit dem übergeordneten Ziel, die Produktqualität zu verbessern sowie die Entwicklungskosten und die Entwicklungszeit zu reduzieren. (Ehrlenspiel, 2009, S. 219–221; Eversheim et al., 2005; Kuster et al., 2011, S. 26) Durch eine prozessorientierte Unternehmensorganisation (Eversheim et al., 2005) und die Übertragung der Produktverantwortung an das Simultaneous Engineering Team kann ein fachbereichsübergreifender Austausch über die gesamte Projektdauer realisiert werden. Strukturierte Projektpläne mit definierten Meilensteinen und die Integration aller Stakeholder fördern die Kommunikation und reduzieren Informationsdefizite in den Fachbereichen. (Ehrlenspiel, 2009, S. 219–221) Der Projektleiter ist für die kontinuierliche Überwachung des Projektfortschritts verantwortlich, wodurch der Grad der Zielerreichung erhöht werden kann (Kuster et al., 2011, S. 26). In der Literatur wird oftmals der Begriff des **Concurrent Engineerings** als Synonym verwendet. Im Vergleich zum Simultaneous Engineering, bei dem der Fokus auf der Parallelisierung von Entwicklungs-, Fertigungs- und Vertriebsaktivitäten liegt, werden beim Current Engineering die Entwicklungsprozesse eines neuen Produkts und die interdisziplinäre Zusammenarbeit der Entwicklerteams fokussiert (Ehrlenspiel, 2009, S. 219–221; Gopalakrishnan et al., 2015).

⁶³ vgl. Kap. 2.3.2.2: Bedeutung eines erfolgreichen Projektmanagements

Zur Modellierung des **Produktprofils**⁶⁴ schlagen Albers, Heimicke, Walter et al. (2018) die in Abbildung 2.16 visualisierte Darstellungsform vor, wodurch das Verständnis über das zu realisierende System erhöht und eine Kommunikationsgrundlage für die interdisziplinäre Zusammenarbeit in der Frühen Phase geschaffen wird. (Albers, Heimicke, Walter et al., 2018)

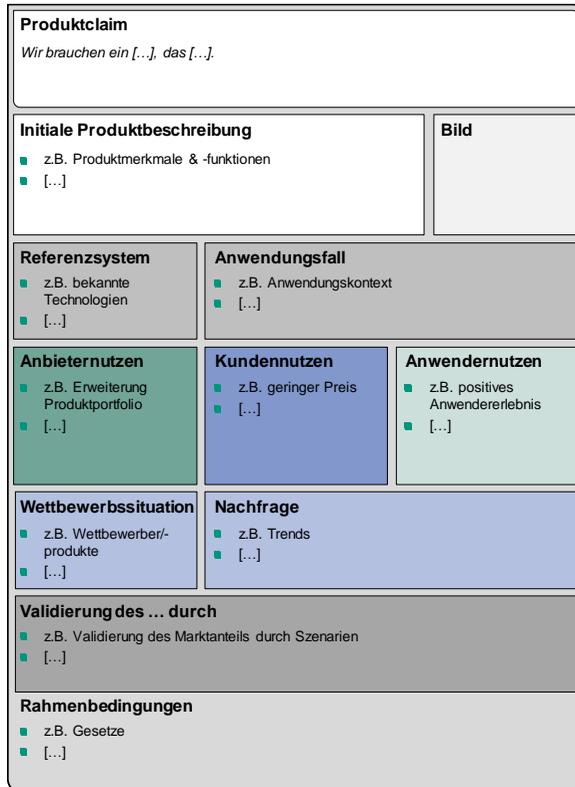


Abbildung 2.16: Darstellungsform Produktprofil (Albers, Heimicke, Walter et al., 2018)

⁶⁴ vgl. Kap. 2.3.1.2: Definition Produktprofil

Unterstützt wird dies, indem ein Überblick über die wesentlichen Produktmerkmale und Produktfunktionen geschaffen wird. Die Inhalte können hinsichtlich potentieller Zielkonflikte, fehlender und unklar formulierter Informationen sowie Anforderungen validiert und entsprechende Maßnahmen zur Priorisierung und Ausrichtung des Projekts eingeleitet werden. Ziel ist es, auf Basis des Produktprofils Entwicklungsrisiken und das Erfolgspotential frühzeitig einzuschätzen. Produktprofile haben den selben Zweck wie Produkthanforderungsdokumente⁶⁵, wobei der Fokus verstärkt auf den Kundenanforderungen liegt. Abhängig vom Projektziel und der initialen Entwicklungssituation kann das Produktprofil situationsspezifisch ausgeprägt sein. Zu den 12 Modulen zählen der Produktclaim mit dem Hauptziel, das Bild sowie die Beschreibung der Referenzsystemelemente (z.B. bekannte Technologien), der Rahmenbedingungen (z.B. Gesetze), der Wettbewerbssituation (z.B. Wettbewerber-/produkte) und der Nachfrage (z.B. Trends). Ein weiteres Modul ist die initiale Produktbeschreibung, mit der ein detaillierter Überblick über die Produktstruktur, die Produktmerkmale und die Produktfunktionen des zukünftigen Produkts geschaffen wird. Weitere Module sind der Anbieter-, Kunden- und Anwendernutzen, mit denen der Mehrwert jeweils aus Anbieter-, Kunden- und Anwenderperspektive durch die Implementierung des zukünftigen Produkts identifiziert wird. Mit Hilfe der Beschreibung von Anwendungsfällen kann der Anwendungskontext erläutert werden. Das Modul zur Validierung ist notwendig, um für jedes Element eines Moduls die individuellen Validierungsaktivitäten zu definieren. (Albers, Heimicke, Walter et al., 2018)

Um die „fuzzy“⁶⁶ frühe Phase zu unterstützen, entwickelte Jetter (2005) ein **Handlungsunterstützungssystem auf Basis von Fuzzy Cognitive Maps**. Fuzzy Cognitive Map ist eine Methode zur Modellierung von Anforderungen und deren Auswirkungen, die ihren Ursprung in der Theorie zu künstlichen, neuronalen Netzen hat. Mit Hilfe der Fuzzy Cognitive Maps werden die Anforderungen auf drei Modellebenen strukturiert und deren Einflussverhalten analysiert (Abbildung 2.17). Das Ergebnis ist ein eingeschränkter Lösungsraum beruhend auf definierten Faktoren, mit denen der Projekterfolg qualitativ eingeschätzt werden kann. Die erste Modellebene umfasst das Umfeld-Anforderungs-Modell und das Technologie-Machbarkeits-Modell. Mit dem Umfeld-Anforderungs-Modell werden Umfeldfaktoren und deren Einfluss auf die Produkthanforderungen in Form von Kausalketten modelliert. Für das Technologie-Machbarkeits-Modell werden Einflussgrößen (z.B. Betriebskosten), die zu erwartenden technologischen Entwicklungen und der Einfluss untereinander sowie auf die technischen (Sub-)Systeme des Entwicklungsprojekts bestimmt. Die zweite Modellebene integriert die Informationen aus der ersten Modellebene. In Form von Komponentenmodellen wird für jede Komponente des zu entwickelnden

⁶⁵ vgl. Kap. 2.3.2.1: Begriffe des Projektmanagements

⁶⁶ vgl. Kap. 2.3.1.1: Erläuterungen zu dem Begriff „fuzzy“

Systems visualisiert, wie groß der Einfluss einer Komponente auf die Produkthanforderungen ist und inwiefern die Entwicklungszeit, Entwicklungskosten und Entwicklungsqualität davon betroffen sind. Das Gesamtprojektmodell stellt auf der dritten Modellebene die Zusammenführung der Komponentenmodelle der zweiten Modellebene dar. Durch Aggregation des Einflussverhaltens der einzelnen Komponenten wird der Gesamteinfluss auf die Faktoren Zeit, Kosten und Qualität des Projekts bestimmt. Dies bildet die Grundlage für detaillierte Untersuchungen des Projekts, beispielsweise hinsichtlich der Kostenprognosen oder des Kapazitätsbedarfs. (Jetter, 2005, S. 296–304)

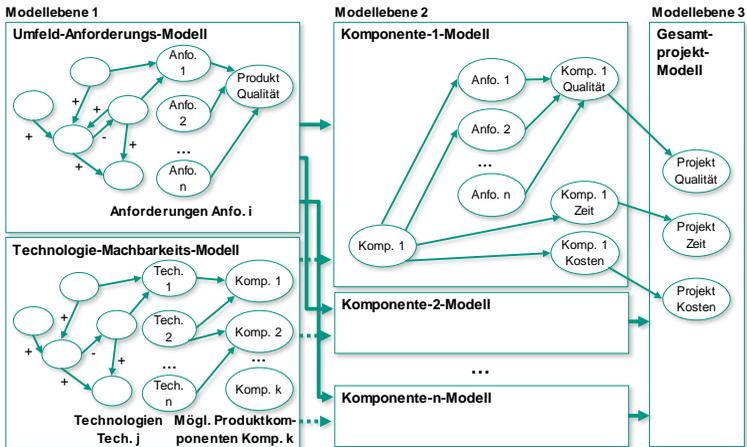


Abbildung 2.17: Handlungsunterstützungssystem – 3 Modellebenen (Jetter, 2005, S. 299)

Um die Wechselwirkungen von Anforderungen identifizieren, modellieren und verstehen zu können, wird eine **Vernetzungsanalyse** vorgeschlagen. Nach Fink et al. (2002) ist die Vernetzungsanalyse eine verständnisfördernde Methode zur Untersuchung von Wirkbeziehungen zwischen Elementen eines Systems auf Basis einer Einflussmatrix (Fink et al., 2002, S. 68). Ein häufiges Einsatzgebiet der Vernetzungsanalyse ist die Szenariofeld-Analyse (Fink et al., 2002, S. 68), bei der Einflussfaktoren des Untersuchungsgegenstands hinsichtlich ihrer Relevanz untersucht werden (Gausemeier & Plass, 2014, S. 48). Die **Szenariotechnik** kann

darüber hinaus zur Identifikation von Risiken (Murray et al., 2011) und zur Validierung von Anforderungen herangezogen werden (Letier et al., 2005). „Ein Szenario ist eine allgemeinverständliche Beschreibung einer möglichen Situation in der Zukunft, die auf einem komplexen Netz von Einflussfaktoren beruht, sowie die Darstellung einer Entwicklung, die aus der Gegenwart zu dieser Situation führen könnte.“ (Gausemeier et al., 1996, S. 90; Gausemeier & Plass, 2014, S. 46). Die Szenariotechnik beruht auf zwei Grundprinzipien. Zum einen ist von mehreren Zukunftsszenarien auszugehen und zum anderen ist die Vielfalt von Einflussfaktoren und deren Interdependenzen sowie die Dynamik von Änderungen im Untersuchungskontext zu berücksichtigen. (Gausemeier et al., 1996, S. 83; Gausemeier & Plass, 2014, S. 48) Bei der Szenarioanalyse wird nach der Klärung des Untersuchungsgegenstands die Szenariofeld-Analyse durchgeführt. Darauf aufbauend erfolgt die Entwicklung von alternativen Zukunftsprojektionen mit anschließender Selektion ein paar weniger Szenarien und Bestimmung der Auswirkungen der ausgewählten Szenarien auf den Untersuchungsgegenstand. (Gausemeier et al., 1996, S. 98; Gausemeier & Plass, 2014, S. 48; Mißler-Behr, 1993, S. 1–22) Während der Vernetzungsanalyse bzw. der Szenariofeld-Analyse wird das Szenariofeld des Untersuchungsgegenstands in Einflussbereiche unterteilt und zu den Einflussbereichen jeweils Einflussfaktoren identifiziert (Abbildung 2.18).

bereiche	1			2			...			Aktivsumme	Proaktiv-Index	Dynamik-Index	
	Einfluss-faktoren	1	2	...	1	2	...	1	2				...
1	1	1	0	1	3	0	2	2	1	0	9	0,8	99
	2	1											
	...	2											
2	1	0											
	2	3											
	...	2											
..	1	1											
	2	0											
	...	2											
Passivsumme	11												

Abbildung 2.18: Vernetzungsanalyse (Fink et al., 2002, S. 190; Gausemeier & Plass, 2014, S. 51)

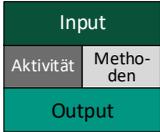
Ziel der Vernetzungsanalyse ist es, die Schlüsselfaktoren unter den Einflussfaktoren zu bestimmen, die einen entscheidenden Einfluss auf die Ausprägung des Untersuchungsgegenstands haben. Bei einer Anzahl von 40 bis 90 Einflussfaktoren wird in der Literatur eine Anzahl zwischen 16 und 20 für Schlüsselfaktoren genannt, das einem relativen Anteil von bis zu 50% entspricht. (Fink et al., 2002, S. 79; Gausemeier & Plass, 2014, S. 51; Siebe & Michl, 2018) Mit Hilfe des Ansatzes der PGE – Produktgenerationsentwicklung⁶⁷ kann von den identifizierten Schlüsselfaktoren im Rahmen der strategischen Produktplanung auf die Entwicklungsumfänge im Rahmen der Produktentwicklung geschlossen werden. Durch die methodische Unterstützung des Ansatzes sind auf Basis der Schlüsselfaktoren die Anforderungen an die technischen Funktionen der zu entwickelnden Produktgenerationen und den relevanten technischen Teilsystemen bestimmbar. (Albers, Dumitrescu et al., 2018) Der erste Schritt der Vernetzungsanalyse ist die direkte Einflussanalyse. Dabei ist eine Einflussmatrix zu erarbeiten, in der die Einflussfaktoren in einer symmetrischen Matrix gegenübergestellt und die direkten Beziehungen jeweils zwischen zwei Einflussfaktoren bewertet sind. In der Literatur wird eine Bewertungsskala mit 0 (kein oder sehr schwacher Einfluss), 1 (schwacher oder zeitlich verzögerter Einfluss), 2 (mittlerer Einfluss) und 3 (starker Einfluss) empfohlen. (Fink et al., 2002, S. 189–190; Gausemeier & Plass, 2014, S. 51) In einem zweiten Schritt erfolgt die indirekte Einflussanalyse, indem auf Basis der direkten Einflussmatrix eine indirekte Einflussmatrix erarbeitet wird. Enthalten sind modifizierte Matrixeinträge, die die indirekten Beziehungen zwischen den Einflussfaktoren – gegebenenfalls über mehrere Stufen – integrieren. Zur Generierung der indirekten Einflussmatrix bieten sich Szenario-Tools an, da ein vollumfängliches Überblicken der indirekten Zusammenhänge oftmals schwer möglich ist. (Fink et al., 2002, S. 191; Gausemeier & Plass, 2014, S. 53; Mißler-Behr, 1993, S. 66–82) Die Bestimmung der Schlüsselfaktoren erfolgt in einem subjektiven Auswahlprozess durch das Szenarioteam, wobei vier Indikatoren als Grundlage dienen (Siebe & Michl, 2018). Die Aktivsumme gibt als Indikator Aufschluss über die Stärke eines Einflussfaktors auf alle anderen Einflussfaktoren und entspricht der Zeilensumme für jeden Einflussfaktor. Die Passivsumme als zweiter Indikator ist die Spaltensumme für jeden Einflussfaktor und verdeutlicht, wie stark ein Einflussfaktor von allen anderen Einflussfaktoren beeinflusst wird. Der dritte Indikator ist der Proaktivitäts- oder auch Impuls-Index, der das Verhältnis von Aktiv- zu Passivsumme darstellt. Ein großes Verhältnis spiegelt eine proaktive Größe mit einer hohen Eigenkraft eines Einflussfaktors wieder. Im Gegensatz dazu steht ein niedriges Verhältnis für eine reaktive Größe. Der Dynamik-Index als vierter Indikator ist das Produkt aus Aktiv- und Passivsumme und repräsentiert den Grad der Vernetzung im Gesamtsystem. (Fink et al., 2002, S. 191; Gausemeier & Plass, 2014, S. 52) Zusätzlich zu den Indikatoren kann ein System-Grid bei der Auswahl

⁶⁷ vgl. Kap. 2.1.3.3

unterstützen, in welchem die Aktivsumme in Abhängigkeit der Passivsumme und somit das Systemverhalten der Einflussfaktoren abgebildet ist (Fink et al., 2002, S. 192; Siebe & Michl, 2018).

Im Vergleich zu traditionellen Modellierungstechniken werden mit der **Modellierungstechnik für das Wissensmanagement, das Prozessmanagement und die Methodenanwendung** von Albers, Reiß et al. (2013) und Albers, Lüdcke et al. (2014) ein interdisziplinärer Wissenstransfer mit Hilfe von Wissensmanagementsystemen sowie die Interaktion zwischen Aktivitäten mit dazugehörigen Methoden berücksichtigt (Tabelle 7).

Tabelle 7: Elemente der Modellierungstechnik nach Albers, Reiß et al. (2013)

Elemente	Bezeichnung	Erklärung
	Wissensträger	Wissensträger sind Menschen, die spezielle Wissensobjekte bei sich „tragen“. Abhängig von deren Unterscheidung werden diese in der linken Spalte als Schwimmbahnen dargestellt. In den Schwimmbahnen dargestellte Prozesse werden durch die Wissensträger verantwortet.
	Prozessphase	Die Prozessphase wird in horizontaler Richtung oberhalb der Schwimmbahnen in Form von Pfeilen und Meilensteinen dargestellt.
	Meilenstein	Meilensteine definieren Grenzen einzelner Prozessphasen, an denen definierte Ziele zu erreichen sind.
	Aktivitätsbox	Aktivitätsboxen stehen jeweils für einen Prozessschritt und umfassen einen Input, einen Output, Aktivitäten und Methoden.
	Wissensquellen	Wissensquellen (z.B. Dokumente) stellen externen Input dar, der von Prozessbeginn an vorhanden ist.
	Wissensmanagementsystem	Wissensmanagementsysteme sind die Wissensarchive des Prozesses, in denen generierte Daten gespeichert sind und zur Verfügung stehen.
	Wissensfluss	Wissensflüsse sind durch Pfeile dargestellt, die die Aktivitätsboxen verbinden.

Das Ergebnis der Prozessmodellierung ist ein aktivitätsbasiertes Diagramm, das auf dem iPeM – integriertes Produktentstehungsmodell⁶⁸ beruht. Eine Aktivität dient der methodenunterstützten und unabhängigen Weiterentwicklung eines Wissensobjekts in explizierter Form (z.B. Dokumente, Skizzen) durch einen Wissensträger. Das resultierende Wissensobjekt kann anschließend in einem Wissensmanagementsystem gespeichert werden. Ziel ist es, Senken im Wissensfluss zu identifizieren, eine prozessbegleitende Dokumentation sicherzustellen, den zu überprüfenden Projektfortschritt an den Meilensteinen zu definieren und eine Vereinheitlichung der Datenspeicher zu ermöglichen. (Albers, Reiß et al., 2013)

2.3.3 Methoden zur Bewertung in der Frühen Phase

Im Folgenden ist ein Überblick über die Methoden zur Bewertung des initialen Zielsystems einer Produktgeneration in der Frühen Phase⁶⁹ gegeben. Dazu zählen die strategische und technische Bewertung von Produkten (Kapitel 2.3.3.1) sowie die Risikobewertung von Produkten (Kapitel 2.3.3.2) und die Bewertung von Produktalternativen (Kapitel 2.3.3.3). Weitere Methoden zur Bewertung existieren vor allem zur Gestaltung einer variantengerechten Produktstruktur. Beispiele sind die Variant Mode and Effects Analysis von Caesar (1991) zur kostenorientierten Produktgestaltung und das Design for Variety nach Martin und Ishii (2002), bei welchem ein Indikator Aufschluss darüber gibt, inwiefern sich technische Subsysteme über den Produktlebenszyklus verändern werden. Diese und weitere Methoden dienen weniger der Bewertung des Zielsystems einer Produktgeneration hinsichtlich den Elementen des Referenzsystems der Produktgeneration und sind deswegen im Folgenden nicht erläutert.

2.3.3.1 Strategische und technische Bewertung von Produkten

Zur Bewertung des Zielsystems einer Produktgeneration hinsichtlich der strategischen und technischen Konsistenz mit den Elementen des Referenzsystems der Produktgeneration existieren unterschiedliche Methoden. Zur Strukturierung sind diese im Folgenden unterteilt nach kennzahlgestützten Methoden, Visualisierungsmethoden, Kartierungsmethoden und Punktwertmethoden, wobei eine eindeutige Zuordnung teilweise nicht möglich ist. Beispielsweise können die Ergebnisse der Punktwertmethode auch als Kennzahl und die Kartierungen können auch als Ergebnis der Visualisierungsmethoden betrachtet werden.

⁶⁸ vgl. Kap. 2.1.2.2

⁶⁹ vgl. Kap. 2.3.1.2: Aktivitäten der Frühen Phase der PGE - Produktgenerationsentwicklung

Die **kennzahlgestützten Methoden** haben entweder eine Kennzahl als Ergebnis oder deren Basis ist eine Kennzahl beziehungsweise eine Menge an Kennzahlen. Ziel der Methoden ist es, ein System quantitativ mit Kennzahlen zu bewerten.

Die monetären Produktbewertungen beruhen auf dem Optimierungsproblem von Kosten- und Nutzenwirkung durch Aufnahme einer zusätzlichen Variante in das Produktportfolio (Rathnow, 1993, S. 9). Eine größere angebotene Variantenvielfalt bedeutet zum einen höhere Absatzmengen und zum anderen steigende Kosten in der gesamten Wertschöpfungskette. (Rücker et al., 2014). Rathnow (1993) hat ein Konzept entwickelt, wie einzelne Methoden zur Quantifizierung der Kosten- und Nutzenwirkungen zusammengeführt werden können (Rathnow, 1993, S. 167–176). Zur Bewertung der Kosten existieren Ansätze wie konventionelle Kostenkalkulationsverfahren und die Prozesskostenrechnung⁷⁰.

Eine weitere Methode ist die Balanced Scorecard, die das Zusammenspiel von vier Perspektiven mit jeweiligen Kennzahlen darstellt (Abbildung 2.19). Ziel der Methode ist es, jeweils für die Perspektiven strategische Ziele und Maßnahmen auf Basis von Kennzahlen abzuleiten. Durch Verknüpfung der vier Perspektiven soll zum einen die Unternehmensvision und die Unternehmensstrategie definiert werden und zum anderen sollen neue Produkte hinsichtlich der vier Perspektiven bewertet und mit der Strategie abgeglichen werden. Beispielhafte Kennzahlen für die traditionelle finanzielle Perspektive sind das Ergebniswachstum und die Kapitalrendite. Beispiele für Kennzahlen der Kundenperspektive sind die Kundenzufriedenheit und Marktanteile. Mit der internen Perspektive werden die unternehmensinternen Geschäftsprozesse betrachtet, die unter anderem durch die Fertigungsqualität und die Fertigungskosten bewertet werden. Die Lern- und Entwicklungsperspektive dient der Implementierung von Informationstechnologien und der Befähigung von Mitarbeitern durch Weiterbildungen, um die Ziele der anderen drei Perspektiven zu realisieren. Zu den Kennzahlen gehören die Mitarbeiterzufriedenheit und die Mitarbeiterproduktivität. (Kaplan & Norton, 2007)

⁷⁰ vgl. Kap. 2.2.3.2: Erläuterung zu den Kostenkalkulationsverfahren

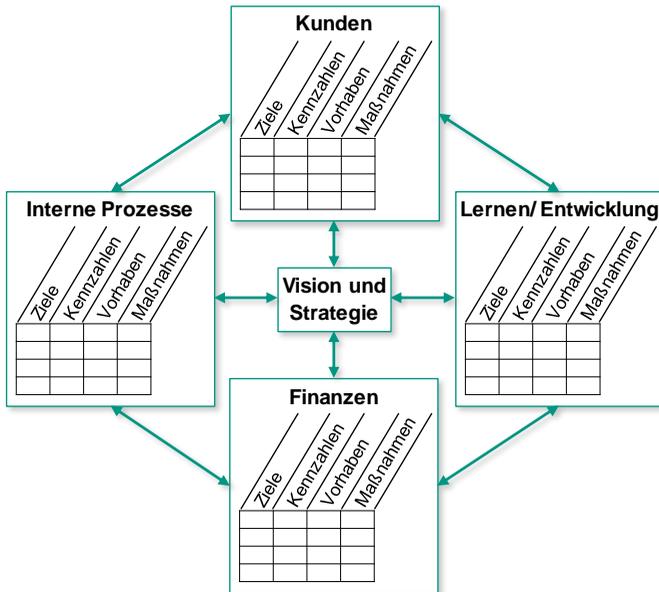


Abbildung 2.19: Balanced Scorecard (Kaplan & Norton, 2007)

Mit den **Visualisierungsmethoden** können die Strukturen der Variantenvielfalt abgebildet werden. Darauf aufbauend kann ein Produkt bewertet werden, inwiefern dieses mit den dargestellten Strukturen übereinstimmt.

Ein Beispiel ist der Merkmalbaum, mit dem die externe Variantenvielfalt⁷¹ abbildbar ist. Die kundenseitigen Merkmale inklusive der Ausprägungen und die Kombinationsmöglichkeiten werden in einer hierarchischen Struktur dargestellt. Mit dieser Darstellungsform können Kunden- und Marktanforderungen analysiert werden, die die Grundlage für den Variantenbaum bilden. Der Variantenbaum ist heranzuziehen, um die hierarchische Produktstruktur auf allen Systemebenen, die Kombinatorik der Subsysteme und die Zuordnung der Subsysteme zu Montageprozessen in Bezug auf die interne Variantenvielfalt aufzuzeigen. (Schuh & Riesener, 2018, S. 119–130)

⁷¹ vgl. Kap. 2.2.2.1: Erläuterungen zur internen und externen Variantenvielfalt

Ein weiteres Beispiel ist die Design Structure Matrix (Abbildung 2.20), mit der die Wechselwirkungen von Elementen innerhalb eines Systems darstellbar sind. Systeme können in diesem Zusammenhang Produkte, Prozesse und organisatorische Strukturen sein, deren Subsysteme in Beziehung zueinanderstehen. In einer symmetrischen Matrix sind die angebotenen Elemente gegenüber den davon abhängigen Elementen aufgelistet. Sofern eine Wechselwirkung besteht, wird der dazugehörige Matrixeintrag gekennzeichnet. Die Matrix gibt über das Systemverhalten und die Stellhebel innerhalb des Systems Auskunft und findet in der Produktentwicklung, der Projektplanung sowie der Planung von organisatorischen Strukturen Anwendung. (Browning, 2001) Mit der Methode können Subsysteme geplant, die Variantenvielfalt analysiert und das Systemverständnis erhöht werden (Eppinger & Browning, 2012).

		n		abhängige Elemente								
		A	B	C	D	E	F	G	H	I		
angebotene Elemente	A	A										
	B	■	B	■	■		■		■	■		
	C	■	■	C		■	■		■	■		
	D	■	■		D	■		■	■	■		
	E	■		■	■	E		■	■	■		
	F		■	■			F					
	G				■	■		G				
	H		■	■	■	■			H			
	I	■		■		■				I		

Abbildung 2.20: Beispiel einer Design Structure Matrix (Browning, 2001)

Die **Kartierungsmethoden** dienen der Analyse eines Produktportfolios, indem die Produkte hinsichtlich zwei in Abhängigkeit stehenden Dimensionen bewertet und visualisiert werden. Mögliche Dimensionen sind beispielsweise der Übereinstimmungsgrad mit der Unternehmensstrategie, die Wahrscheinlichkeit des kommerziellen und / oder technischen Erfolgs, die Marktattraktivität, der Wettbewerbsvorteil und die Investitionen in der Entwicklung und / oder der Fertigung. (Cantamessa,

2005) Die Dimensionen beschreiben die zu vergleichenden Zielgrößen des Produkterfolgs. In Abbildung 2.21 sind beispielhafte Portfolioanalysen dargestellt, die überwiegend für strategische Entscheidungen zur Anwendung kommen und einen Überblick über die Potentiale einer Produkteinführung geben (Hsuan & Vepsäläinen, 1999).

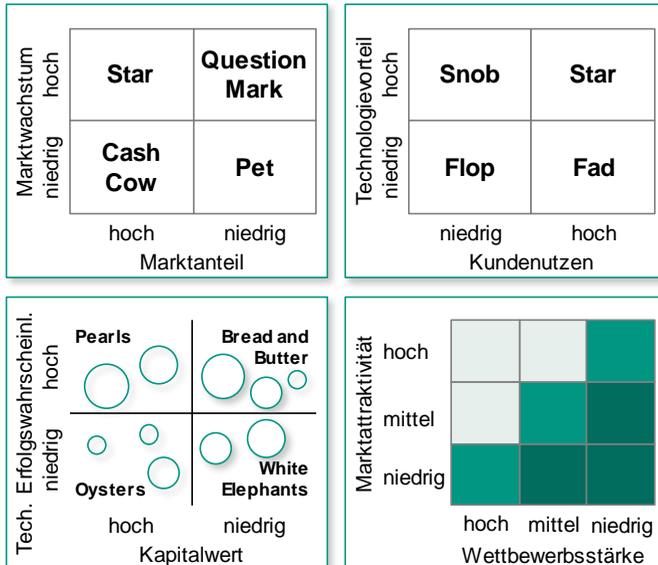


Abbildung 2.21: Portfolioanalysen nach Cooper et al. (2001), Henderson (1970), Hsuan und Vepsäläinen (1999), McKinsey & Company (2008)

Links oben ist die Marktwachstum-Marktanteil-Matrix im Original der Boston Consulting Group abgebildet. *Cash Cows* (dt. Melkkühe) stehen für Produkte, die einen hohen Marktanteil und niedriges Marktwachstum in der Zukunft haben. *Question Marks* (dt. Fragezeichen) repräsentieren Produkte, die ein hohes Marktwachstum aufweisen und deren Marktanteil durch große Investitionen erhöht werden kann. *Pets* (dt. Tiere) werden als weniger erfolgversprechend angesehen, wohingegen *Stars* (dt. Sterne) den größten Erfolg versprechen. (Henderson, 1970)

Rechts oben ist die Technologievorteil-Kundennutzen-Matrix von Hsuan und Vepsäläinen (1999) abgebildet, die zur Kommunikation für das Management entwickelt wurde. Der Technologievorteil umfasst die Kernkompetenzen (z.B. Produkteigenschaften, Fertigungsprozesse, Fertigungstechnologien) und der Kundennutzen umfasst die Produkte und Dienstleistungen, um die Kundenbedürfnisse zu befriedigen. Die Produkte werden mit Hilfe der Matrix kategorisiert in *Stars* (dt. Sterne) als Erfolgsgaranten, in *Flops* (dt. Misserfolge) als Garanten eines Misserfolgs, in *Snobs* (dt. Wichtigtuer) mit Potential zur Steigerung des Kundennutzens und in *Fads* (dt. Modeerscheinungen) mit einem kurzzeitigen hohen Kundennutzen. (Hsuan & Vepsäläinen, 1999)

Links unten ist das Blasendiagramm von Cooper et al. (2001) mit der technischen Erfolgswahrscheinlichkeit in Abhängigkeit des Kapitalwerts abgebildet. Entsprechend des jährlichen relativen Ressourcenbedarfs werden die Produkte in Form von Blasen in unterschiedlichen Größen visualisiert. Produkte mit einer hohen technischen Erfolgswahrscheinlichkeit und einem hohen Kapitalwert werden als *Pearls* (dt. Perlen) bezeichnet. Im Vergleich dazu stehen *White Elephants* (dt. weiße Elefanten) für Produkte mit einer niedrigen technischen Erfolgswahrscheinlichkeit und einem niedrigen Kapitalwert. Produkte mit einer niedrigen Erfolgswahrscheinlichkeit mit gleichzeitig hohem Kapitalwert erhalten die Bezeichnung *Oysters* (dt. Austern) und Produkte mit einer hohen Erfolgswahrscheinlichkeit mit gleichzeitig niedrigerem Kapitalwert erhalten die Bezeichnung *Bread and Butter* (dt. Brot und Butter). (Cooper et al., 2001)

Rechts unten ist die GE-McKinsey nine-box-Matrix der Unternehmensberatung McKinsey & Company für Managemententscheidungen abgebildet. Der Markt eines Produkts wird dahingehend bewertet, ob dieser eine niedrige, mittlere oder hohe Marktattraktivität aufweist. Zudem ist die Wettbewerbsstärke eines Produkts in dem Markt als niedrig, mittel oder hoch einzustufen. Abhängig von den Einstufungen können strategische Entscheidungen getroffen werden. Sofern das Ergebnis einem der hellgrünen Quadrate entspricht, sind die Produkte erfolgsversprechend. Produkte, deren Einstufung auf der Diagonale liegt, sollten weiter geprüft werden. Dunkelgrüne Quadrate deuten darauf hin, dass die Produkte gegebenenfalls aus dem Portfolio eliminiert werden sollten. (McKinsey & Company, 2008)

Bei den **Punktwertmethoden** bewerten Entscheider die Produkte hinsichtlich verschiedener Aspekte mit definierten Bewertungskriterien auf einer absoluten Bewertungsskala. Beispiele für Bewertungsskalen sind Punktwerte von 1 (Produkt stimmt völlig mit dem Aspekt überein) bis 5 oder 10 (Produkt stimmt gar nicht mit dem Aspekt überein). Durch Summation der Punktwerte der einzelnen Bewertungskriterien

resultiert eine Gesamtpunktzahl, die die Attraktivität eines Produkts wiedergibt. Beruhend auf den Gesamtpunktzahlen verschiedener Produkte, können die erfolgversprechendsten Produkte selektiert werden. (Cooper & Edgett, 2001)

Cooper und Edgett (2001) beschreiben eine typische Anwendung mit Hilfe von sechs Aspekten und beispielhaften Bewertungskriterien: strategische Übereinstimmung (z.B. strategischer Übereinstimmungsgrad, strategische Wichtigkeit), Wettbewerbsvorteil (z.B. Kundenangebote, individueller Kundennutzen), Marktattraktivität (z.B. Marktgröße, Marktwachstumsrate), Kernkompetenzen (z.B. Marketingsynergien, technologische Synergien), technische Herstellbarkeit (z.B. technische Komplexität, Grad der technischen Unsicherheit), Verhältnis von Risiko zu Ertrag (z.B. Amortisationszeit, geschätzter Gewinn) (Cooper & Edgett, 2001).

Albar und Jetter (2011) haben Bewertungskriterien zur Bewertung von Neuprodukten (z.B. Rentabilität, technische Möglichkeit, Marktnachfrage) identifiziert. Die Bewertungskriterien sind auf einer linguistischen Bewertungsskala (gut, schlecht, neutral) zu beurteilen. Beispielsweise verdeutlicht eine hohe Nachfrage, dass das Produkt hinsichtlich des Bewertungskriteriums großes Erfolgspotential aufweist. Im Gegensatz dazu verdeutlicht eine rückläufige Nachfrage, dass das Produkt hinsichtlich des Bewertungskriteriums nicht zufriedenstellend eingestuft ist. Sofern keine Informationen zu einem Bewertungskriterium vorliegen, wird das Bewertungskriterium nicht weiter berücksichtigt. Zur Beurteilung von Produkten schlagen Albar und Jetter (2011) zwei Vorgehen vor (Abbildung 2.22). Bei dem ersten Vorgehen „Take the Best“ (dt. nehme-das-Beste) werden Produkte hinsichtlich der Bewertungskriterien individuell ohne Vergleich mit weiteren Produkten bewertet. Die Schnelligkeit des Verfahrens wird realisiert, indem die Bewertungskriterien nach absteigender Wichtigkeit bewertet werden. Sobald das erste Bewertungskriterium positiv bewertet wird, bricht das Verfahren ab. Bei dem zweiten Verfahren „Tallying decision“ (dt. zusammengerechnete Entscheidung) werden alle Bewertungskriterien nacheinander bewertet und die dazugehörigen Punktwerte werden aufsummiert. (Albar & Jetter, 2011)

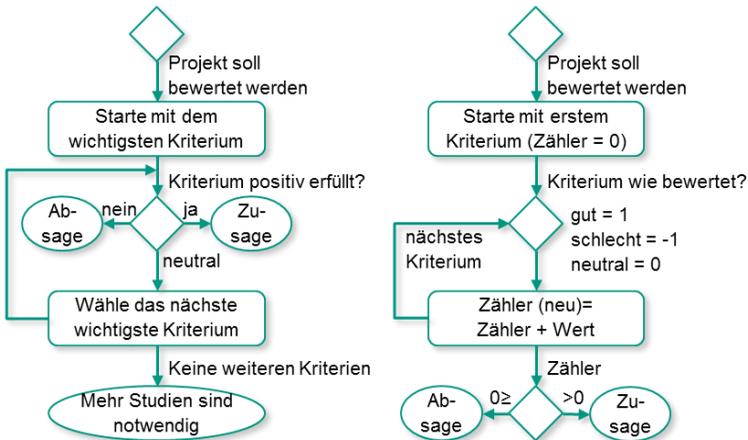


Abbildung 2.22: „Take the Best“ (links) und „Tallying decision“ (rechts) (Albar & Jetter, 2011)

2.3.3.2 Risikobewertung von Produkten

Die Bewertung von Risiken dient dazu mögliche Folgen eines Ereignisses zu quantifizieren (Boehm, 1988, S. 227), um einen Misserfolg bei der Einführung eines neuen Produktes zu vermeiden. Folgen können negativ oder positiv sein, die entsprechend entweder als Risiken oder als Chancen bezeichnet werden (Werdich, 2012a, S. 147). Murray et al. (2011) unterscheidet in diesem Zusammenhang verschiedene Risikokategorien: administrative Risiken (z.B. Kommunikationsschwierigkeiten, mangelnde Projektplanung), Entwicklungsrisiken (z.B. wenig definierte Projektziele, ungenaue Produktspezifikationen), Leistungsrisiken (z.B. technologische Grenzen, Sicherstellung der Qualität), finanzielle und ökonomische Risiken (z.B. Fehlkalkulationen, Budgetrestriktionen), Einkaufs- und Vertragsrisiken (z.B. niedrige Rohmaterialqualität, Lieferantenausfall), regulatorische und rechtliche Risiken (z.B. neue Richtlinien und Gesetze), Verspätungsrisiken (z.B. Projektverspätungen durch den Zulieferer, Freigabeverspätungen) (Murray et al., 2011). Im Folgenden ist ein Überblick über Methoden zur Risikobewertung und zur Bewertung der technologischen Unsicherheit gegeben.

Die **SWOT-Analyse** ist eine weitverbreitete Methode zur Beschreibung der Stärken (engl. strengths), der Schwächen (engl. weaknesses), der Chancen (engl. chances) und der Risiken (engl. risks). Die Stärken und die Schwächen geben Aufschluss über das interne Unternehmensumfeld zum Beispiel hinsichtlich der finanziellen und personellen Ressourcen, der Erfahrungen, der Kernkompetenzen und der Unternehmenskultur. Das externe Unternehmensumfeld beeinflusst die Chancen und die Risiken, die sich beispielsweise durch politische, internationale und / oder konjunkturelle Veränderungen ergeben. (Pelz, 2004, S. 20–22)

Die **Failure Mode and Effects Analysis (FMEA)** (dt. Fehler-Möglichkeits- und Einfluss-Analyse) unterstützt bei der Identifikation von möglichen Ausfallursachen, Ausfallarten und Ausfallfolgen für einen Prozess, ein technisches System oder ausgewählte technische Subsysteme. Ziel der Methode ist es, die Risiken eines Produkts frühzeitig zu bestimmen und zu bewerten, sodass Optimierungsmaßnahmen eingeleitet werden können. Bei der Risikobewertung (Abbildung 2.23) wird die Auftretenswahrscheinlichkeit der Ausfallursache, die Bedeutung der Ausfallfolge und die Entdeckungswahrscheinlichkeit der Ausfallursache auf einer Bewertungsskala eingestuft.

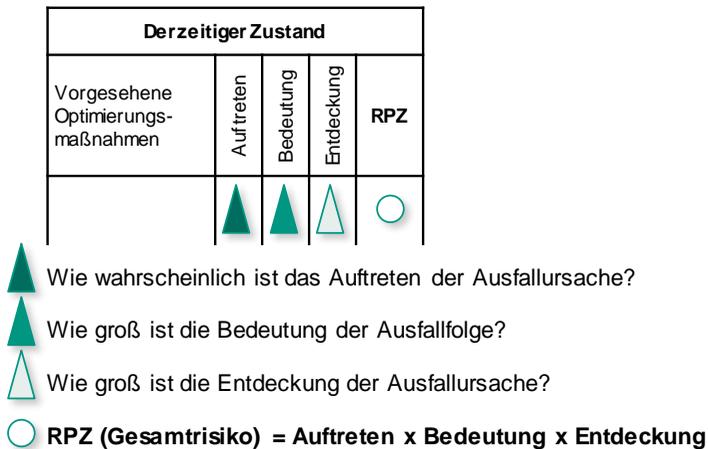


Abbildung 2.23: Risikobewertung mit Hilfe der FMEA (Binz et al., 2017, S. 114)

In der Regel wird eine ganzzahlige Bewertungsskala von 1 (sehr seltenes Auftreten, geringste Bedeutung, beste Entdeckung) bis 10 (sehr hohes Auftreten, höchste Bedeutung, geringste Entdeckung) herangezogen. Die Risikoprioritätszahl (RPZ) ist das Ergebnis der Multiplikation der drei Faktoren, wobei eine geringe RPZ für ein niedriges Risiko und eine hohe RPZ für ein hohes Risiko steht. Auf Basis dessen können die Optimierungsmaßnahmen selektiert und priorisiert werden. (Binz et al., 2017, S. 106–115)

Weiterentwicklungen der FMEA sind die **Failure Mode, Effects and Criticality Analysis** (FMECA) (dt. Fehler-Möglichkeiten, Einfluss und Kritikalitäts-Analyse) und die **Failure Mode, Effects and Diagnostic Analysis** (FMEDA) (dt. Fehler-Möglichkeiten, Einfluss- und Diagnoseanalyse). Dabei wird jeweils eine zusätzliche Risikocharakterisierung berücksichtigt. Bei der FMECA ist das die Kritikalität (Binz et al., 2017, S. 108) und bei der FMEDA die Diagnosefähigkeit des Systems (Hartmann & Heine, 2012). Eine weitere artverwandte Methode ist die **Fault Tree Analysis** (FTA) (dt. Fehlerbaumanalyse), bei der in visualisierter Form die Fehlerereignisse in mehrere Subereignisse unterteilt werden (Schnellbach & Wennmacher, 2012).

Risikomatrizen geben einen ersten Überblick über die Risiken eines technischen Systems in Form einer Matrix, indem in der Regel zwei Dimensionen gegenübergestellt werden und das technische System darauf basierend eingestuft wird. (Murray et al., 2011; Werdich, 2012a, S. 148) Risikomatrizen dienen als Grundlage zur Kosten- und Zeitplanung der zu entwickelnden Produkte (Murray et al., 2011) sowie zur Planung und Priorisierung der dazugehörigen Validierungsaktivitäten (Albers, Rapp et al., 2017). Werdich (2012a) kritisiert dabei, dass mögliche zeitliche Verzögerungen und deren Folgen auf den Produktentstehungsprozess nicht berücksichtigt werden (Werdich, 2012a, S. 148). In Abbildung 2.24 sind beispielhafte Risikomatrizen aufgeführt und im Folgenden erläutert.

Links oben ist die **Risikomatrix** von Werdich (2012a) abgebildet. Ein technisches System ist hinsichtlich der Eintrittswahrscheinlichkeit eines Fehlers im Vergleich zu dem Schadensausmaß zu beurteilen. Abhängig von den gewählten Ausprägungen ist durch die Matrix zu erkennen, ob das technische System ein akzeptables (grün), ein weiter zu beobachtendes (gelb) oder ein inakzeptables Risiko (rot) aufweist. (Werdich, 2012a, S. 148)

Rechts oben ist die **generische Risiko Matrix** mit Gewichten von Murray et al. (2011) abgebildet, bei der die Eintrittswahrscheinlichkeit und das Einflusspotential eines Risikos als Dimensionen beachtet werden. Die Matrix wurde entwickelt, damit

Projektmanager schnell und einfach die Risiken eines technischen Systems einschätzen können. Die beiden Dimensionen sind auf einer Bewertungsskala mit den Ausprägungen 1 (gering), 2 (mittel) und 3 (hoch) einzustufen. Das Produkt der eingestuft Ausprägungen gibt Aufschluss darüber, welche Maßnahmen einzuleiten sind. (Murray et al., 2011)

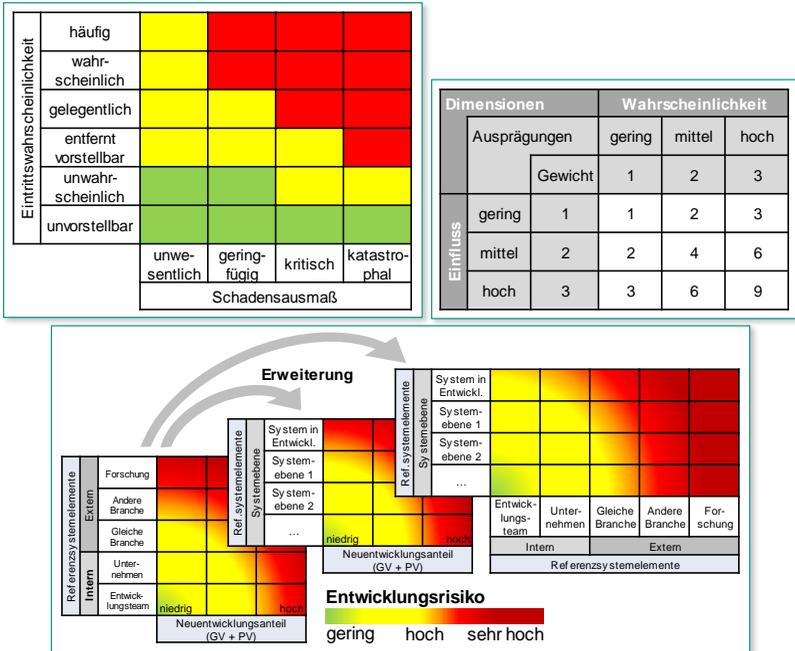


Abbildung 2.24: Risikomatrizen nach Albers, Rapp et al. (2017), Albers, Rapp et al. (2018), Murray et al. (2011), Werdich (2012b, S. 148)

Unten ist das **Risiko-Portfolio** von Albers, Rapp et al. (2017) auf Basis des Modells der PGE – Produktgenerationsentwicklung abgebildet, das die Grundlage für die Erweiterung um eine dritte Dimension nach Albers, Rapp et al. (2018) war. Das Ri-

siko eines technischen Systems ist unter anderem von der Herkunft der Referenzsystemelemente⁷² abhängig, da bei einem externen Referenzprodukt in der Regel eine geringere Wissensbasis vorliegt und dementsprechend mehr Validierungsaktivitäten intensiviert durchzuführen sind. Die zweite Dimension stellt die Höhe des Neuentwicklungsanteils des zu entwickelnden technischen Systems dar. Bei einem höheren Neuentwicklungsanteil ist die Wahrscheinlichkeit höher, dass auch das Produktions- und das Validierungssystem von Anpassungen betroffen sind. Folglich steigt die Anzahl an Validierungsaktivitäten und somit das Risiko. (Albers, Rapp et al., 2017) Das erweiterte Risiko-Portfolio inkludiert die Systemebene der Referenzsystemelemente als dritte Dimension. Das Risiko steigt mit zunehmender Systemebene von der untersten Subsystemebene bis zu dem System, das sich derzeit in der Entwicklung befindet. (Albers, Rapp et al., 2018)

In der Frühen Phase sind insbesondere die Validierungsaktivitäten von zentraler Bedeutung, um die technologische Unsicherheit bei unveränderlichem Entwicklungsrisiko zu reduzieren (Albers, Klingler et al., 2014). Zur Priorisierung und zur Identifikation der Hauptvalidierungsaktivitäten kann die **Kritikalitätsmatrix** von Albers, Klingler et al. (2014) herangezogen werden, mit der ein technisches System hinsichtlich drei Dimensionen bewertet wird (Abbildung 2.25). Die technologische Unsicherheit wird als das Wissen über die Implementierung des betrachteten Systems verstanden und steht in Zusammenhang mit dem Reifegrad eines technischen Systems. Der Reifegrad entspricht der Erfolgswahrscheinlichkeit des Systems, wobei die Erfolgswahrscheinlichkeit von den Referenzsystemelementen hinsichtlich der genutzten Technologie und des Anwendungsszenarios abhängig ist. Die genutzte Technologie ist eine zu bewertende Dimension und kann ein internes oder ein externes Referenzprodukt (wie das zu verwendende Material und wie die vorhandenen Fertigungsprozesse) sein. Das Anwendungsszenario als eine weitere zu bewertende Dimension beschreibt die Ähnlichkeit zu bereits bekannten Anwendungsfällen des zu erfüllenden Systems mit den gleichen Funktionen und unter den gleichen Randbedingungen. Die dritte zu bewertende Dimension ist der Einfluss des technischen Systems, wodurch die Vernetzung und die Interaktionen der Subsysteme im Gesamtsystem widergespiegelt werden. Alle drei Dimensionen sind auf einer fünfstufigen Bewertungsskala von unkritisch (0) bis hoch kritisch (5) zu klassifizieren. Durch Multiplikation der drei Einstufungen kann die Kritikalität eines technischen Systems bestimmt und darauf aufbauend die Validierungsaktivitäten abgeleitet und priorisiert werden. (Albers, Klingler et al., 2014)

⁷² vgl. Kap. 2.1.3.3: Erläuterungen zum Referenzsystem der PGE - Produktgeneration-entwicklung

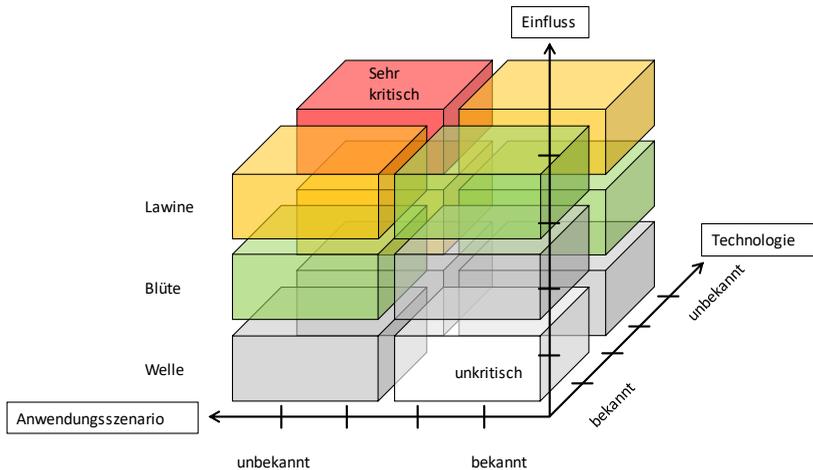


Abbildung 2.25: Kritikalitätsmatrix (Albers, Klingler et al., 2014)

Albers, Revfi et al. (2018) fordern die Differenzierung zwischen dem Entwicklungsrisiko und der technologischen Unsicherheit, da das Entwicklungsrisiko neben der technologischen Unsicherheit auch von der Auftretenswahrscheinlichkeit der Unsicherheit abhängig ist. Zur Minimierung der Entwicklungsrisiken ist somit die technologische Unsicherheit zu reduzieren. Basierend auf den Dimensionen der Kritikalitätsmatrix nach Albers, Klingler et al. (2014) und dem Risiko-Portfolio nach Albers, Rapp et al. (2018) wurde die **Methode zur Bewertung der technologischen Unsicherheit** nach Albers, Revfi et al. (2018) entwickelt (Abbildung 2.26). Die vier Dimensionen der Bewertungsmethode sind der Einfluss des technischen Systems, die Höhe des Übernahmevarianteanteils sowie die Referenzsystemelemente hinsichtlich der genutzten Technologie und des Anwendungsszenarios. Aufgrund der Einheitlichkeit bei der Bewertung ist für die vier Dimensionen eine fünfstufige Bewertungsskala von einer sehr geringen (1) bis zu einer sehr hohen (5) technologischen Unsicherheit festgelegt. Je größer die Fläche zwischen den Einstufungen ist, desto größer ist die technologische Unsicherheit. Beruhend darauf können Entscheidungen für oder gegen Produktkonzepte getroffen und Validierungsaktivitäten bestimmt werden. (Albers, Revfi et al., 2018)

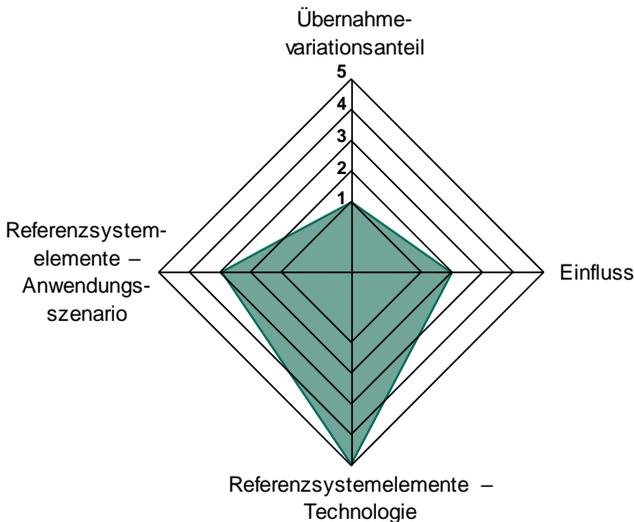


Abbildung 2.26: Bewertung der technologischen Unsicherheit (Albers, Revfi et al., 2018)

2.3.3.3 Bewertung von Produktalternativen

Häufig in der Praxis angewendete und / oder für diese Arbeit relevante Methoden zur Bewertung von Produktalternativen sind im Folgenden vorgestellt.

Die **Nutzwertanalyse** ist eine multikriterielle Entscheidungsmethode, um quantifizierbare (z.B. Marktanteil, Entwicklungskosten) und qualitative (z.B. strategische Bedeutung, Kundenzufriedenheit) Bewertungskriterien sowie um mehrere Stakeholder bei der Auswahl von Produktalternativen zu berücksichtigen. Weitere Anwendungsfälle sind die Priorisierung von Produktalternativen und die Entscheidung, ob ein Produkt angeboten bzw. realisiert werden soll oder nicht. Der Fokus liegt bei der Methode auf der Zerlegung eines Entscheidungsproblems in Subprobleme, die mit Bewertungskriterien beschrieben werden können. Verschiedene Produktalternativen können hinsichtlich der definierten Bewertungskriterien auf einer definierten Bewertungsskala mit Punktwerten bewertet werden. Abhängig von der Wichtigkeit zum

Gesamtproblem unterliegt jedes Bewertungskriterium einer Gewichtung. Der gewichtete Punktwert eines Bewertungskriteriums resultiert aus der Multiplikation des Punktwerts des Bewertungskriteriums mit der dazugehörigen Gewichtung. Durch Summation der gewichteten Punktwerte ergibt sich für jede Alternative ein Nutzwert, der zum Vergleich und / oder zur Priorisierung der Produktalternativen herangezogen werden kann. Der Nutzwert basiert – aufgrund der direkten Zuordnung der Gewichtungen zum Gesamtproblem – auf einer linearen Funktion. (Fiedler, 2014, S. 42–47; Jansen, 2011; Kühnapfel, 2014, S. 1–20) Sofern die Subprobleme in weitere Subprobleme zerlegt werden, sind für die Bewertungskriterien jedes weiteren Subproblems die entsprechenden Gewichtungen zu bestimmen und hinsichtlich des Gesamtproblems zu normieren. Daraus ergeben sich mehrdimensionale Funktionen. Die **Multi-Attribute Utility Theory** (MAUT) (dt. multiattributute Nutzentheorie) unterstützt bei der Auswahl und der Priorisierung der Produktalternativen. (Fiedler, 2014, S. 42–47; Jansen et al., 2011)

Die **Conjoint Analyse** (dt. Verbundsmessung) dient dem Vergleich von Produkten und der Auswahl eines Produkts auf Basis von empirisch ermittelten Nutzwerten für definierte Produkteigenschaften. (Jansen et al., 2011; Molin, 2011) Diese Analyseform unterstützt mit Hinblick auf eine variantengerechte Produktgestaltung bei der Identifizierung von Produkteigenschaften, die zu den Kunden- und Anbieteranforderungen konform sind. (Herrmann & Seilheimer, 2002) Bei der Methode werden Teilnehmern die zu vergleichenden Produkte vorgestellt. Diese bewerten definierte Eigenschaften der Produkte auf Basis einer Bewertungsskala und mit Hilfe einer systematischen Auswahlreihenfolge. Eine statistische Analysetechnik kann zur Auswertung der Bewertungen herangezogen werden, um die Nutzwerte der einzelnen Eigenschaften und der Ausprägungen hinsichtlich des Gesamtnutzens abzuschätzen. Das Ziel ist eine entwickelte Nutzenfunktion, mit der der Einfluss jeder Eigenschaft zum Gesamtnutzen bestimmt werden kann. Zudem kann für jedes Produkt der Gesamtnutzen prognostiziert werden. Durch Vergleich der Gesamtnutzen kann das präferierte Produkt ausgewählt werden. (Jansen et al., 2011; Molin, 2011)

Mit Hilfe der Methode **Quality Function Deployment** (QFD) (dt. Qualitätsfunktionsdarstellung) werden Kundenanforderungen in messbare technische Produktanforderungen übersetzt, um bei der Neuproduktentwicklung den Kunden- und Anbieternutzen durch eine systematische Visualisierung der kunden- und anbieterseitigen Anforderungen zu steigern. Diese Methode wurde zur Analyse von Kundenbedürfnissen und als Kommunikationsinstrument zwischen verschiedenen Hierarchieebenen und Fachbereichen entwickelt. Heute wird die Methode unter anderem auch zur Entscheidungsfindung sowie zur Kosten- und Zeitplanung eingesetzt. (Chan & Wu, 2002; Karsak et al., 2002) Die Struktur der QFD ist in Abbildung 2.27 dargestellt.

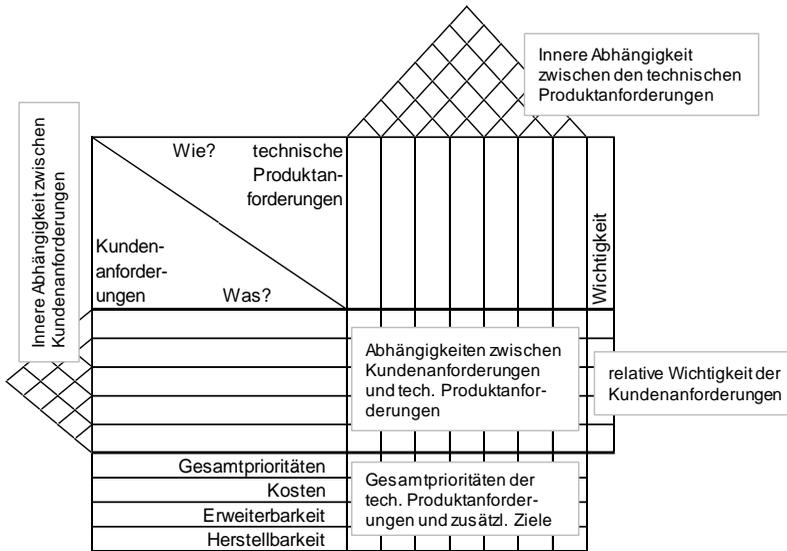


Abbildung 2.27: Struktur der Quality Function Deployment Methode (Karsak et al., 2002)

Bei der Erarbeitung der Struktur werden in einem ersten Schritt die Kundenanforderungen bestimmt, die die Frage *Was soll entwickelt werden?* repräsentieren. Die relative Wichtigkeit der Kundenanforderungen kann mit Hilfe verschiedener Priorisierungsmethoden bestimmt werden. In einem nächsten Schritt werden die technischen Produktanforderungen beim Anbieter ermittelt, die die Frage *Wie sollen die Kundenanforderungen umgesetzt werden?* darstellen. Dazu zählen Anforderungen an die Produktgestalt, die Produktfunktionen und die Produkteigenschaften. Die Kundenanforderungen und die technischen Produktanforderungen bilden die Eingangsdaten für die Beziehungsmatrix (auch bekannt als House of Quality). In dieser ist abgebildet, inwiefern eine technische Produktanforderung eine Kundenanforderung beeinflusst. Die inneren Abhängigkeiten zwischen den Kundenanforderungen und zwischen den technischen Produktanforderungen werden jeweils durch eine Korrelationsmatrix wiedergegeben. Die Gesamtprioritäten der technischen Produktanforderungen können durch zusätzliche Ziele (z.B. Kosten, Erweiterbarkeit, Herstellbarkeit) ergänzt werden. (Ionica & Leba, 2015; Karsak et al., 2002)

Der **Analytic Hierarchy Process** (AHP) (dt. analytischer hierarchisch-strukturierter Prozess) ist eine Theorie, mit der multikriterielle Entscheidungen zur Auswahl von Produktalternativen unterstützt werden. Durch Transformation von qualitativen und quantitativen Faktoren in numerische Werte und mit Hilfe von subjektiven Präferenzen mehrerer Stakeholder werden multidimensionale Entscheidungsprobleme in ein unidimensionales Problem überführt. Der AHP basiert auf einer Zielhierarchie (Abbildung 2.28: links) mit vier Gruppen an jeweils zugeordneten Elementen. (Saaty, 2005; Saaty & Vargas, 2006, 2012)

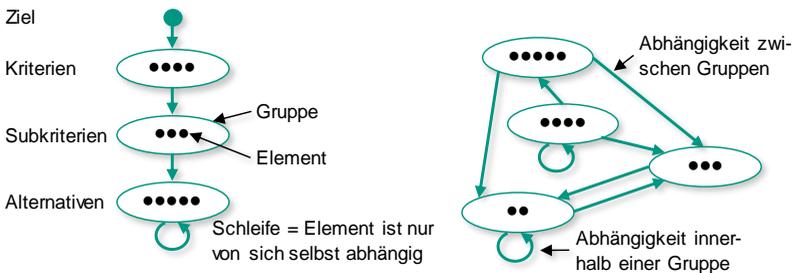


Abbildung 2.28: Entscheidungsstruktur auf Basis des AHP (links) und des ANP (rechts) (Saaty, 2005)

Die Gruppe *Nutzen* deckt die Aspekte ab, die eine sichere Auftretenswahrscheinlichkeit mit positiver Auswirkung auf den Projekterfolg haben. Die Gruppe *Kosten* repräsentiert die Aspekte, die mit einer sicheren Auftretenswahrscheinlichkeit eine negative Auswirkung haben. Im Gegensatz dazu haben die Aspekte der Gruppe *Möglichkeiten* eine unsichere Auftretenswahrscheinlichkeit mit positiver Auswirkung und die Aspekte der Gruppe *Risiken* eine unsichere Auftretenswahrscheinlichkeit mit negativer Auswirkung. Innerhalb der Gruppen sind für die Elemente paarweise Vergleiche zur Bestimmung der Gewichtungen durchzuführen, in welchem Maße jedes Element zur Leistungserfüllung des übergeordneten Ziels beiträgt. Mit Hilfe einer Sensitivitätsanalyse erfolgt die Überprüfung der Konsistenz der paarweisen Vergleiche. Die konsistenten paarweisen Vergleiche werden bei der Erstellung einer Supermatrix berücksichtigt. Auf Basis der Supermatrix und durch Bewertung der Produktalternativen hinsichtlich der Elemente kann unter den Produktalternativen die präferierte Alternative bestimmt werden. (Saaty, 2005; Saaty & Vargas, 2006, 2012)

Der **Analytic Network Process** (ANP) (dt. analytischer netzwerk-strukturierter Prozess) ist die Weiterentwicklung des AHP, indem dem Entscheidungsproblem keine Zielhierarchie, sondern eine Netzwerkstruktur zugrunde gelegt wird (Abbildung 2.28: rechts). Im Vergleich zu den hierarchischen Verbindungen beim AHP ausschließlich zu der jeweils darunterliegenden Ebene, werden beim ANP die Wechselwirkungen und Abhängigkeiten zwischen allen Ebenen berücksichtigt. Dabei können Elemente einen Einfluss auf weitere Elemente innerhalb der Gruppe und auf weitere Elemente innerhalb weiterer Gruppen ausüben. Die Gewichtungen sind wie beim AHP mit Hilfe von paarweisen Vergleichen zu ermitteln, wobei durch die Berücksichtigung der Wechselwirkungen die Komplexität bei der Auswahl der präferierten Produktalternative erhöht wird. (Karsak et al., 2002; Saaty, 2005; Saaty & Vargas, 2012)

Unter anderem nach Jiang und Hsu (2003) und Lin und Chen (2004) erreichen die beschriebenen, konventionellen Methoden zur Alternativenauswahl aufgrund der Unsicherheit und mangelnder Datenbasis in der frühen Phase ihre Grenzen. Begründet wird dies insbesondere durch die subjektiven Beurteilungsansätze sowie durch die Auswahl einer präferierten Produktalternative aus einer Menge an möglicherweise schlechten Produktalternativen. (Jiang & Hsu, 2003; Lin & Chen, 2004) Entsprechend der Bezeichnung der „fuzzy“⁷³ frühen Phase gewinnen **„fuzzy“ Methoden** zur schnellen Entscheidungsfindung in der Literatur zunehmend an Bedeutung. Zur Auswahl von Produktalternativen wurden verschiedene Ansätze entwickelt, die eine geringe Anzahl an anwendungsfallspezifischen Bewertungskriterien umfassen. Ein Beispiel ist der Ansatz von Büyüközkan und Feyzioglu (2004) zur Unterstützung des Managements in der frühen Phase. Der Ansatz beruht in Anlehnung an den AHP auf einer Entscheidungshierarchie, in der jeweils vier Bewertungskriterien für die Nutzen- (z.B. Rentabilität, Effizienz, strategischer Mehrwert, betriebswirtschaftliche Auswirkungen) und Risikobewertung (z.B. finanziell, technisch, betriebswirtschaftlich, personell) abgebildet sind. Auf deren Basis ist zu identifizieren, welche der vorgeschlagenen Produktalternativen aus strategischer Sicht weiterentwickelt werden soll. (Büyüközkan & Feyzioglu, 2004) Ein weiteres Beispiel ist der Ansatz von Lin und Chen (2004) für Manager zur Vorauswahl von Produktalternativen. Zu den Bewertungskriterien zählen die Attraktivität des Marktes, der Vertriebsnutzen und die technologische Unsicherheit. (Lin & Chen, 2004)

⁷³ vgl. Kap. 2.3.1.1: Erläuterung zu dem Begriff „fuzzy“

2.3.4 Erkenntnisse zur Frühen Phase der PGE - Produktgenerationsentwicklung

Verschiedene Methoden zur Bewertung von neuen Produktgenerationen⁷⁴ in der Frühen Phase sind in den vorangehenden Kapiteln vorgestellt. Speziell für die Bewertung von Varianten in der Angebotsphase⁷⁵ vor der ökonomischen Bewertung konnte keine Methode gefunden werden, welche die im Folgenden beschriebenen Vergleichskriterien durchweg erfüllt. Die Methoden sind in Tabelle 8 aufgelistet und mit Fokus auf die Angebotsphase von Varianten beurteilt.

Für die binäre Beurteilung der Methoden, ob das jeweilige Vergleichskriterium zutrifft oder nicht, sind die Symbole ✓ (ja) und × (nein) herangezogen. Zur qualitativen Beurteilung der Methoden mit einer Klassifizierung von *nicht erfüllt*, *wenig erfüllt*, *teilweise erfüllt*, *durchaus erfüllt* und *erfüllt* ist die von Harvey Poppel entwickelte Darstellungsform der Harvey Balls⁷⁶ gewählt. Nicht berücksichtigt sind die Kostenkalkulationsverfahren, da nach einer Methode vor der ökonomischen Bewertung gesucht wird. Der Merkmal- und der Variantenbaum⁷⁷ nach Schuh und Riesener (2018, S. 119–130) sind Visualisierungsmethoden und deswegen in der Tabelle nicht enthalten. Das Handlungsunterstützungssystem auf Basis von Fuzzy Cognitive Maps von Jetter (2005) und die Szenarioanalyse unterstützen neben der Modellierung von Abhängigkeiten⁷⁸ auch der technischen Bewertung bzw. der Risikobewertung, weswegen diese Methoden in den Vergleich aufgenommen sind. Bei der Bewertung der Risiken werden die Chancen⁷⁹ einer neuen Produktgeneration nicht berücksichtigt, das nicht einer von Rathnow (1993) postulierten umfassenden Kosten-Nutzen-Analyse entspricht. In der Angebotsphase⁸⁰ wird das initiale Zielsystem *einer* Produktgeneration bewertet. Die Selektion von *mehreren* Produktalternativen spielt dabei eine untergeordnete Rolle. Die Methoden zur Risikobewertung von

⁷⁴ inklusive die Bewertung von Varianten

⁷⁵ vgl. Kap. 2.3.1.3: Aktivitäten in der Angebotsphase

⁷⁶ vgl. Erläuterungen zu der Darstellungsform von Harvey Poppel nach Katz (2012, S. 65)

⁷⁷ vgl. Kap. 2.3.3.1

⁷⁸ vgl. 2.3.2.3: Das Handlungssystem auf Basis von Fuzzy Cognitive Maps und die Szenarioanalyse sind als Ansätze des Projektmanagements beschrieben, können jedoch auch zur Bewertung von Produktgenerationen in der Frühen Phase eingesetzt werden.

⁷⁹ vgl. Kap. 2.3.3.2: Abgrenzung Risiken und Chancen

⁸⁰ vgl. Kap. 2.3.1.3: in der Angebotsphase wird in der Regel ein konkretes Produkt betrachtet

Produkten und zur Bewertung von Produktalternativen liefern jedoch für diese Arbeit relevante Ansätze.

Tabelle 8: Vergleich der Methoden zur Bewertung für die Angebotsphase

Methode	Literatur	Vergleichskriterien								
		Objektivierte Bewertung	Standardisierte Bewertung	Flexibilität bei der Bewertung	Schnelle Bewertung	Geringer initialer Implementierungsaufwand	Aggregierte Bewertung	Genaue Bewertung	Integration des Referenzsystems	Adaptierbare Bewertungskriterien
Handlungsunterstützungssystem	Jetter 2005	✓	✓	x	○	○	○	○	○	○
Szenarioanalyse	z.B. Mißler-Behr 1993	✓	✓	x	○	○	○	○	○	○
Balanced Scorecard	Kaplan und Norton 1996	x	✓	✓	○	○	○	○	○	○
Design Structure Matrix	Browning 2001	✓	✓	x	○	○	○	○	○	○
Portfolioanalysen	z.B.: Cooper et al. 2001	✓	✓	x	○	○	○	○	○	○
Punktwertmethoden	z.B.: Albar und Jetter 2011	✓	✓	x	○	○	○	○	○	○
SWOT-Analyse	Pelz 2004	x	✓	✓	○	○	○	○	○	○
FMEA (und artverwandte)	Binz et al. 2017	✓	✓	✓	○	○	○	○	○	○
Risikomatrix	Werdich 2012	✓	✓	x	○	○	○	○	○	○
generische Risikomatrix	Murray et al. 2001	✓	✓	x	○	○	○	○	○	○
erweitertes Risiko-Portfolio	Albers, Rapp et al. 2018	✓	✓	x	○	○	○	○	○	○
Kritikalitätsmatrix	Albers, Klingler et al. 2014	✓	✓	x	○	○	○	○	○	○
Bewertung techn. Unsicherheit	Albers, Revfi et al. 2018	✓	✓	x	○	○	○	○	○	○
Nutzwertanalyse	z.B. Kühnapfel 2014	✓	✓	x	○	○	○	○	○	○
Conjoint Analyse	z.B. Molin 2011	✓	✓	x	○	○	○	○	○	○
QFD	z.B. Karsak et al. 2002;	✓	✓	x	○	○	○	○	○	○
AHP, ANP	z.B. Saaty 2005; Saaty und Vargas 2006	✓	✓	x	○	○	○	○	○	○
fuzzy Methoden	z.B. Büyüközkan und Feyzioglu 2004	✓	✓	x	○	○	○	○	○	○

Legende						
✓	x	○	◐	◑	◒	◓
ja	nein	nicht erfüllt	wenig erfüllt	teilweise erfüllt	durchaus erfüllt	erfüllt

Zu jeder Methode sind entweder die Entwickler der Methode oder eine beispielhafte Literaturangabe, in der die Methode beschrieben ist, aufgeführt. Zu den binären Vergleichskriterien zählt die *objektivierte Bewertung*. Um neue Projekte miteinander vergleichbar zu machen, ist wegen der qualitativen Datenbasis in der frühen

Phase⁸¹ ausschließlich eine Objektivierung von Erfahrungswerten der Stakeholder⁸² möglich. Aufgrund oftmals unterschiedlich interpretierter Informationen können Methoden, die für mehrere Projekte einheitlich angewendet werden können, den Formalisierungsgrad in der frühen Phase fördern. Dies ist durch das binäre Vergleichskriterium *standardisierte Bewertung* verdeutlicht. Nach Jetter (2005, S. 151) sind die anzuwendenden Methoden in einem unsicheren und dynamischen Entwicklungsumfeld oftmals wenig flexibel. Mit dem Vergleichskriterium *flexible Bewertung* ist beurteilt, ob infolge veränderter Anforderungen während der Methodendurchführung die Änderungen berücksichtigt werden können oder ob die Methode neu durchgeführt werden muss. Im Hinblick auf kürzer werdende Entwicklungszeiten⁸³ spielt die *schnelle Bewertung* eine entscheidende Rolle. Damit geht die Dauer und somit der *initiale Implementierungsaufwand* einer Methode einher, wobei geringe Vorbereitungsaufwände zur Anwendung der Methode von Vorteil sind. Die *aggregierte Bewertung* repräsentiert die Konsolidierung von einzelnen Bewertungen (Jetter, 2005, S. 149), die gegebenenfalls mit individuellen Methoden bestimmt werden. Das Vergleichskriterium *genaue Bewertung* verdeutlicht ein ausreichendes Maß an Genauigkeit, das trotz qualitativ vorliegender Informationen in der frühen Phase zu erzielen ist, um eine aussagekräftige Bewertung zu gewährleisten. Mit dem Vergleichskriterium *Integration des Referenzsystems*⁸⁴ ist beurteilt, inwiefern bei der Methode existierende (technische) Systeme aufwands- und nutzenseitig sowie im Produktentwicklungsprozess involvierte Stakeholder berücksichtigt werden. Jetter (2005, S. 153) beschreibt diese Anforderung an eine Bewertungsmethode als Systemsicht und multifunktionale Zusammenarbeit. Die Methoden können zum einen kontextspezifisch und zum anderen generisch anwendbar sein. Ob die Bewertungskriterien der Methoden auf den Anwendungsfall der Angebotsphase von Varianten angepasst werden können, wird mit dem Vergleichskriterium *adaptierbare Bewertungskriterien* überprüft.

⁸¹ vgl. Kap. 2.3.1.1: Kennzeichen der frühen Phase

⁸² vgl. Kap. 2.1.1.3 und Kap. 2.3.1.2: Definitionen zu Bewertung und Objektivierung

⁸³ vgl. Kap. 2.2.1

⁸⁴ vgl. Kap. 2.1.3.3: Bedeutung und Mehrwert durch Berücksichtigung von existierenden (technischen) Systemen in der Produktentwicklung

2.4 Fazit zu den Grundlagen und zum Stand der Forschung

Aus dem Stand der Forschung geht hervor, dass es zahlreiche Literatur zu Modellen in der Produktentstehung gibt. Unter anderem wurde das iPeM – integriertes Prozessmodell entwickelt, das den Entwickler bei der Auswahl an Aktivitäten und Methoden entsprechend der Entwicklungssituation und bei der Planung und Steuerung von Entwicklungsprojekten unter Berücksichtigung einer umfassenden Systembetrachtung unterstützt (Albers, Reiß, Bursac & Richter, 2016). Mit Hilfe von ASD – Agile Systems Design kann der Entwickler durch definierte Prinzipien, einen Metaprozess sowie durch die bedarfsgerechte Auswahl von strukturgebenden und flexiblen Elementen den Produktentwicklungsprozess auf verschiedenen Prozessebenen planen (Albers, Heimicke, Hirschter et al., 2018). Auf Basis des Beschreibungsmodells der PGE – Produktgenerationsentwicklung können Produkte, Prozesse und Methoden mit Hilfe einer gezielten Übernahme und Neuentwicklung des dazugehörigen Referenzsystems entwickelt werden (Albers, Rapp, Spadinger, Richter, Birk, Marthaler, Heimicke, Kurtz & Wessels, 2019b). Alle drei Ansätze liefern Grundlagen der Entwicklungsmethodik, die in der Entwicklungspraxis erprobt sind und auf Problemstellungen in der Praxis übertragen werden können.⁸⁵

Die Produktindividualisierung ist ein Megatrend, der vor allem in der Automobil- und in der automobilen Zulieferindustrie eine wichtige Rolle spielt. Neben der steigenden Variantenvielfalt ist die automobilen Zulieferindustrie gekennzeichnet durch einen anhaltenden Wettbewerbsdruck. (Göpfert et al., 2017) Das Forschungsprojekt liegt in dem Zeitraum des Dieselskandals, durch den die angespannte wirtschaftliche Situation insbesondere für die Automobilhersteller und die automobilen Zulieferer von Fahrzeugen bzw. Fahrzeug-Produkten des Dieselmärkte zunimmt. Infolgedessen gewinnt ein systematischer Umgang mit Variantenvielfalt an Bedeutung. In der Literatur sowie in der Praxis werden hauptsächlich Ansätze zur Variantenvermeidung und -generierung fokussiert. Die Ansätze zur Variantengenerierung – besonders in der Marktphase des Varianten-Referenzprodukts – findet wenig Beachtung, obwohl unvorhergesehene Varianten trotz möglicher hoher Entwicklungsrisiken und -kosten, auch entscheidende Erfolgspotentiale für den Anbieter aufweisen können (Kesper, 2012).⁸⁶

⁸⁵ vgl. Kap. 2.1: Literatur zu den Modellen in der Produktentstehung

⁸⁶ vgl. Kap. 2.2: Literatur zur Variantenvielfalt in der automobilen Zulieferindustrie

Unterschiedliche Autoren haben die unsichere, dynamische und oftmals wenig formalisierte frühe Phase der Produktentwicklung mit ihren Aktivitäten beschrieben. Für die Aktivitäten sind in der Literatur verschiedene Methoden zur Bewertung einer neuen Produktgeneration zu finden. Die Angebotsphase von Varianten als spezifische Frühe Phase umfasst im Wesentlichen die Aktivitäten der Frühen Phase (Albers, Peglow et al., 2019). Speziell für die Angebotsphase gibt es keine umfassende Methode zur Bewertung von Varianten, in der unter anderem dynamische Änderungen während der Anwendung und in der die Elemente des Referenzsystems der Variante ausreichend berücksichtigt werden (Albers, Rapp, Peglow et al., 2019). Die Ansätze der existierenden Methoden zur Risikobewertung und zur Bewertung von Produktalternativen sowie zur strategischen und technischen Bewertung einer Variante bieten jedoch Möglichkeiten eine solche systematische Entwicklungsmethode zu entwickeln.⁸⁷

⁸⁷ vgl. Kap. 2.3.1: Literatur zur Frühen Phase in der Produktentwicklung

3 Forschungsprofil der Arbeit

Die Zielsetzung der Arbeit ist in Kapitel 3.1 dargelegt. Mit dem Kapitel zur Forschungsmethodik (Kapitel 3.2) ist die Vorgehensweise der Arbeit erläutert. Die Forschungsumgebung ist in Kapitel 3.3 beschrieben.

3.1 Zielsetzung

Das Ziel der Arbeit ist auf Basis des Forschungsbedarfs abgeleitet (Kapitel 3.1.1). Die Forschungshypothese ist aufgestellt, um den Fokus der Arbeit zu verdeutlichen (Kapitel 3.1.2). Auf Basis der Forschungshypothese sind die Forschungsfragen formuliert (Kapitel 3.1.3).

3.1.1 Forschungsbedarf

Die Erkenntnisse zu den Modellen in der Produktentstehung⁸⁸ verdeutlichen, dass es in der Praxis etablierte Ansätze (z.B. iPeM, ASD, PGE) für die Produktentwicklung neuer Produktgenerationen gibt. Es ist der Bedarf an der Weiterentwicklung des Referenzsystems der PGE – Produktgenerationsentwicklung aufgezeigt. Nach Albers, Rapp, Peglow et al. (2019) zählen dazu die Bewertung des Zielsystems einer Produktgeneration hinsichtlich der Konsistenz mit den Elementen des Referenzsystems der Produktgeneration. Daraus resultiert die Frage, inwiefern die Bewertung einen Beitrag zur Identifikation von Entwicklungsrisiken, -kosten und -potentiale sowie zur Bestimmung der Wechselwirkungen zwischen dem Zielsystem der Produktgeneration und den Elementen des Referenzsystems der Produktgeneration liefert (Albers, Rapp, Spadinger, Richter, Birk, Marthaler, Heimicke, Kurtz & Wesels, 2019b). Neben einer Methode zur umfassenden Bewertung, postulieren Peglow et al. (2019) auch einen dazugehörigen Bewertungsprozess, um eine holistische Bewertung zu gewährleisten.

⁸⁸ vgl. Kap. 2.1.4: Erkenntnisse zu den Modellen in der Produktentstehung in der Literatur

Die Erkenntnisse zur Variantenvielfalt in der automobilen Zulieferindustrie⁸⁹ zeigen, dass ein systematischer Umgang mit Variantenvielfalt in der automobilen Zulieferindustrie eine essentielle Rolle spielt und in der Zukunft vermehrt eine Rolle spielen wird. Besonders profitieren Hersteller von Produkten des Dieselmotors von effizienten Entwicklungsprozessen und von einem wettbewerbsfähigen Produktportfolio, um dem ansteigenden Kosten- und Zeitdruck gerecht zu werden. Es existieren erprobte Ansätze zur Vermeidung und Eliminierung von Varianten, wohingegen es nur wenige systematische Ansätze zur Einführung von unvorhergesehenen Varianten in der Marktphase einer Produktgeneration gibt.

Infolge des identifizierten Bedarfs an einem Prozess und einer Methode zur Bewertung des Zielsystems einer Produktgeneration hinsichtlich der Konsistenz mit den entsprechenden Elementen des Referenzsystems sowie infolge des identifizierten Bedarfs an einer systematischen Einführung von unvorhergesehenen Varianten, wurde die Angebotsphase von Varianten untersucht. Aus den Erkenntnissen zur Frühen Phase in der Produktentwicklung⁹⁰ geht hervor, dass die Aktivitäten der Frühen Phase einer Produktgeneration und der Angebotsphase von Varianten als spezifische Frühe Phase⁹¹ auf einer übergeordneten Prozessebene definiert sind. Um einen ausreichenden Formalisierungsgrad bei gleichzeitiger Berücksichtigung von häufigen Iterationen und von involvierten Interessengruppen in der Frühen Phase zu erreichen, wird die Modellierung eines adäquaten Referenzprozesses gefordert. Speziell für die Angebotsphase wurden Methoden zur Risikobewertung von Produkten, zur Bewertung von Produktalternativen und zur Bewertung der strategischen und technischen Konsistenz einer Variante zu den Elementen des Referenzsystems der Variante untersucht. Aus der Untersuchung resultiert, dass es keine Methode gibt, die die in der Literatur identifizierten Anforderungen an eine Bewertungsmethode in der Angebotsphase erfüllt.

Für einen systematischen Umgang mit Varianten ist eine *Systematik zur Bewertung von Varianten in der Angebotsphase der automobilen Zulieferindustrie* (nachfolgend: Bewertungssystematik) unabdingbar, die einen Bewertungsprozess und eine Methode zur Bewertung von Varianten umfasst.

⁸⁹ vgl. Kap. 2.2.4: Erkenntnisse zur Variantenvielfalt in der automobilen Zulieferindustrie in der Literatur

⁹⁰ vgl. Kap. 2.3.4: Erkenntnisse zur Frühen Phase der Produktgenerationsentwicklung in der Literatur

⁹¹ vgl. Kap. 2.3.1.2 und Kap. 2.3.1.3: Definition zur Frühen Phase und Angebotsphase

Ziel der Arbeit

Das Ziel der Arbeit ist die Entwicklung der Systematik zur Bewertung von Varianten im Bezug auf die Konsistenz des Zielsystems von unvorhergesehenen Varianten mit den variantenindividuell betroffenen Elementen des Referenzsystems der Varianten für die Angebotsphase von CP der automobilen Zulieferindustrie. Die Entwicklerteams (z.B. Entwicklung, Fertigung, Einkauf) in der Angebotsphase sollen durch die Bewertungssystematik auf Basis des Modells der PGE – Produktgenerationsentwicklung unterstützt werden. Die Ziele, Anforderungen und Randbedingungen der Arbeit und somit der Bewertungssystematik sollen aus der Literatur abgeleitet (initiale Zielsystem der Bewertungssystematik) und in der Praxis bei dem automobilen Zulieferer spezifiziert werden (Zielsystem der Bewertungssystematik). Gemessen an dem Zielsystem der Bewertungssystematik soll die Konzeption der Bewertungssystematik und die Umsetzung der Bewertungssystematik als Tool erfolgen. Die Bewertungssystematik soll zum einen die Methode zur Bewertung umfassen, mit der die Entwicklerteams die Auswirkungen einer unvorhergesehenen Variante auf die variantenindividuell betroffenen Elemente des Referenzsystems der Variante (z.B. Fertigungskonzept, Produktstrategie) bewerten können und mit der das Potential zur Einführung der Variante in das Produktportfolio objektiviert wird. Zum anderen soll die Bewertungssystematik einen Bewertungsprozess umfassen, mit dem der Wissensfluss – abhängig von den variantenindividuell betroffenen Elementen des Referenzsystems der Variante – zwischen den Entwicklerteams sowie die Verantwortlichkeiten der Entwicklerteams für die Aktivitäten zur Anwendung der Methode zur Bewertung definiert werden. Mit Hilfe der Bewertungssystematik sollen die Wechselwirkungen innerhalb des Zielsystems von Varianten in der Angebotsphase untersucht werden, auf deren Basis Schlüsselfaktoren für die Entscheidung über die Einführung von Varianten identifiziert werden. Das Vorgehen der Arbeit soll auf einem Ansatz beruhen, durch den die Analyse- und Syntheseaktivitäten zur Beantwortung der Forschungsfragen auf verschiedenen Prozessebenen iterativ geplant werden.

Bei der Bewertungssystematik sei der Fokus auf unvorhergesehene Varianten der Common-Rail Pumpen⁹² (CP) gelegt, um die automobilen Zulieferer des Dieselmotors zu unterstützen. Durch die Bewertung der Konsistenz des Zielsystems einer

⁹² vgl. Kap. 3.3.2: Erläuterungen zu den Common-Rail Pumpen der Forschungsumgebung

Variante hinsichtlich den Elementen des Referenzsystems der Variante soll das Erfolgspotential der Variante bestimmbar werden. Um das Verständnis über das Referenzsystem im Modell der PGE - Produktgenerationsentwicklung zu vertiefen, ist im Zusammenhang mit der Bewertung von Varianten in der Angebotsphase eine Analyse der Wechselwirkungen zwischen dem Zielsystem von Varianten und den Elementen des Referenzsystems der Varianten notwendig. Mit Hilfe dessen sollen Schlüsselfaktoren identifiziert werden, die einen entscheidenden Einfluss bei der Einführung einer Variante haben. Zur Deckung des Forschungsbedarfs ist das Modell der PGE – Produktgenerationsentwicklung ein geeigneter Ansatz, da das Modellelement *Referenzsystem einer Variante* bei der Bewertung von Varianten eine elementare Rolle spielt. Darüber hinaus bieten ASD und das iPeM, die auf dem Modell der PGE – Produktgenerationsentwicklung beruhen, durch die Auswahl von strukturgebenden und flexiblen Elementen sowie durch eine gezielte Methodenauswahl adäquate Ansätze, den Bewertungsprozess als Teil der Bewertungssystematik zu modellieren.

Das Ziel der Arbeit ist durch das initiale Zielsystem der Bewertungssystematik begründet, welches auf Basis der in der Literatur identifizierten Anforderungen⁹³ abgeleitet ist:

- Eine Bewertungssystematik soll gemäß des Ziels der Arbeit modelliert werden, mit der eine objektivierte und aggregierte Bewertung der Auswirkungen einer Variante auf die variantenindividuell betroffenen Elemente des Referenzsystems der Variante vor der ökonomischen Bewertung in der Angebotsphase realisiert wird.
- Der Anwenderbedarf soll durch eine mensch-zentrierte Bewertungssystematik gedeckt werden, indem eine an den Zielen gemessen ausreichend genaue Bewertung bei einer effizienten Anwendung sichergestellt wird.
- Die Bewertung von Varianten soll durch die Einbindung von Fachexperten zielgerichtet unterstützt werden.
- Mit der Bewertungssystematik soll ein an den Zielen gemessenes Maß an Standardisierung und Flexibilität bei der Bewertung von Varianten realisiert werden, sodass eine variantenindividuelle Anwendung möglich ist.
- Das Wissen über CP, Prozesse und Methoden soll bei der Entwicklung der Bewertungssystematik genutzt werden.
- Die Bewertungssystematik soll weitestgehend produkt- und prozessunabhängig anwendbar sein, sodass diese für Systemumgebungen weiterer Produktgenerationen und weiterer Phasen des Produktlebenszyklus adaptierbar ist.

⁹³ vgl. Kap. 2.3.4: Anforderungen an die Methoden zur Bewertung aus der Literatur

- Mit der Bewertungssystematik soll ein Anwender-, Anbieter- und Kundennutzen ermöglicht werden.
- Die Bewertungssystematik soll mit einem geringen initialen Implementierungsaufwand im Unternehmen eingeführt werden können.

3.1.2 Forschungshypothese

Auf Basis des Ziels der Arbeit wurde die Forschungshypothese abgeleitet. Diese liegt den Untersuchungen und der entwickelten Bewertungssystematik zugrunde.

Forschungshypothese

Eine Systematik zur Bewertung von Varianten in der Angebotsphase von Common-Rail Pumpen in der automobilen Zulieferindustrie ermöglicht die Auswirkungen einer angefragten Variante auf die variantenindividuell betroffenen Elemente des Referenzsystems der Variante gemessen an den aus der Literatur und an den aus der Praxis bei dem automobilen Zulieferer identifizierten Anforderungen des Zielsystems der Bewertungssystematik zu bewerten. Durch die Systematik wird basierend auf den Bewertungen das Potential zur Einführung der Variante in das Produktportfolio objektiviert.

3.1.3 Forschungsfragen

Auf Basis des Ziels der Arbeit und der Forschungshypothese sind vier Forschungsfragen bestimmt. Die sechs Phasen der Arbeit beruhen auf den sechs Phasen des ASD⁹⁴: Literaturrecherche, Potentialfindung für die Bewertungssystematik, Konzeption der Bewertungssystematik, Umsetzung der Bewertungssystematik als Tool, Validierung der Arbeit, Identifikation weiterführender Forschung. In der zweiten, dritten, vierten und fünften Phase werden jeweils eine der vier Forschungsfragen beantwortet. Unterteilt nach diesen vier Phasen der Arbeit sind im Folgenden die Forschungsfragen mit den Unterfragen beschrieben. In den Beschreibungen zu den Phasen ist insbesondere auf die Textabschnitte eingegangen, die in dem Ziel der Arbeit hervorgehoben sind.

⁹⁴ vgl. Kap. 3.2: Vorgehensweise des Forschungsprojekts auf Basis von ASD – Agile Systems Design

In der zweiten Phase der Arbeit *Potentialfindung für die Bewertungssystematik* liegt der Fokus auf der Beantwortung der ersten Forschungsfrage. Das Ergebnis der Phase ist das **Zielsystem der Bewertungssystematik**. Das Zielsystem der Bewertungssystematik ist auf Grundlage des in der Literatur identifizierten Forschungsbedarfs und des bei dem automobilen Zulieferer identifizierten Bedarfs zu definieren.

Forschungsfrage 1

Welche Bedarfe gibt es im Umgang mit Variantenvielfalt in der Angebotsphase von Common-Rail Pumpen bei dem automobilen Zulieferer und wie lässt sich daraus das entsprechende Zielsystem der Bewertungssystematik ableiten?

- 1.1 Welche Bedarfe gibt es im Umgang mit Variantenvielfalt bei dem automobilen Zulieferer?
- 1.2 Wie muss das Zielsystem der Bewertungssystematik auf Basis des in der Literatur identifizierten Forschungsbedarfs und auf Basis der bei dem automobilen Zulieferer identifizierten Bedarfe definiert werden?
- 1.3 Wie müssen die Wechselwirkungen innerhalb des Zielsystems der Bewertungssystematik modelliert werden, sodass dadurch die Anforderungen (Teil des Zielsystems der Bewertungssystematik) hervorgehen, die während der Konzeption der Bewertungssystematik und der Umsetzung der Bewertungssystematik als Tool zu fokussieren sind?

In der dritten Phase der Arbeit *Konzeption der Bewertungssystematik* liegt der Fokus auf der Beantwortung der zweiten Forschungsfrage. Das Ergebnis der Phase ist die **Bewertungssystematik**, die hinsichtlich den Anforderungen des Zielsystems der Bewertungssystematik zu entwickeln ist. Dafür ist der **Bewertungsprozess** und die **Methode zur Bewertung** zu gestalten. Um die Schlüsselfaktoren für die Entscheidung zur Einführung von Varianten in der Angebotsphase zu identifizieren, sind die **Wechselwirkungen innerhalb des Zielsystems von Varianten** zu modellieren.

Forschungsfrage 2

Wie muss die Bewertungssystematik für Common-Rail Pumpen hinsichtlich den Anforderungen des Zielsystems der Bewertungssystematik gestaltet werden?

- 2.1 Wie muss der Bewertungsprozess gestaltet werden, sodass der Wissensfluss – abhängig von den variantenindividuell betroffenen Elementen des Referenzsystems der Variante – zwischen den Entwicklerteams definiert ist sowie die Verantwortlichkeiten der Entwicklerteams für die Aktivitäten zur Anwendung der Methode zur Bewertung definiert sind?
- 2.2 Wie muss die Methode zur Bewertung gestaltet werden, sodass die Entwicklerteams die Auswirkungen einer angefragten Variante auf die variantenindividuell betroffenen Elemente des Referenzsystems der Variante bewerten können und das daraus resultierende Potential zur Einführung der Variante in das Produktportfolio objektiviert wird?
- 2.3 Wie müssen die Wechselwirkungen innerhalb des Zielsystems von Varianten in der Angebotsphase mit Hilfe der Bewertungssystematik modelliert werden, sodass die Schlüsselfaktoren für die Entscheidung über die Einführung von Varianten identifiziert werden?

In der vierten Phase der Arbeit *Umsetzung der Bewertungssystematik als Tool* liegt der Fokus auf der Beantwortung dritten Forschungsfrage. Das Ergebnis der Phase ist die **als Tool umgesetzte Bewertungssystematik**, die hinsichtlich den Anforderungen des Zielsystems der Bewertungssystematik umzusetzen ist. Zur Unterstützung der Umsetzung ist das Produktprofil, der Funktionsdemonstrator und der Designdemonstrator des Tools zu entwickeln.

Forschungsfrage 3

Wie kann die Umsetzung der Bewertungssystematik mittels eines Tools für Common-Rail Pumpen hinsichtlich den Anforderungen des Zielsystems der Bewertungssystematik unterstützt werden?

- 3.1 Wie muss das Produktprofil der als Tool umgesetzten Bewertungssystematik gestaltet werden?
- 3.2 Wie muss der Funktionsdemonstrator der als Tool umgesetzten Bewertungssystematik gestaltet werden?
- 3.3 Wie muss der Designdemonstrator der als Tool umgesetzten Bewertungssystematik gestaltet werden?

In der fünften Phase der Arbeit *Validierung der Arbeit* liegt der Fokus auf der Beantwortung vierten Forschungsfrage. Das Ergebnis der Phase ist das Validierungsergebnis hinsichtlich den Anforderungen des **Zielsystems der Bewertungssystematik**. Zu prüfen ist, inwiefern die Anforderungen und somit das Ziel der Arbeit durch die Bewertungssystematik und das Tool erfüllt werden.

Forschungsfrage 4

Welchen Mehrwert liefert die Bewertungssystematik im Umgang mit Variantenvielfalt für Common-Rail Pumpen gemessen an den Anforderungen des Zielsystems der Bewertungssystematik?

- 4.1 Inwiefern ist die Bewertungssystematik für Varianten einer Produktgeneration anwendbar?
- 4.2 Inwiefern ist die Bewertungssystematik auf weitere Produktgenerationen übertragbar?
- 4.3 Werden die Anforderungen des Zielsystems der Bewertungssystematik durch die Bewertungssystematik und das Tool erfüllt?

3.2 Forschungsmethodik

In der Literatur sind zahlreiche Ansätze beschrieben, mit denen Forschungsfragen auf Grundlage einer strukturierten Vorgehensweise beantwortet werden können. Zur Beantwortung der Forschungsfragen wurden in dieser Arbeit Aktivitäten der Analyse und der Synthese iterativ durchgeführt. ASD – Agile Systems Design ist als Grundlage zur Planung des Forschungsprojekts auf verschiedenen Prozessebenen herangezogen (Kapitel 3.2.1). Das Rahmenwerk der Design Research Methodology von Blessing und Chakrabarti (2009) hat sich in der technikorientierten Forschung bewährt, weswegen dieses zur Strukturierung des Forschungsprojekts dient (Kapitel 3.2.2). Die im Rahmen der Arbeit ausgewählten Methoden sind in Kapitel 3.2.3 erläutert.

3.2.1 Vorgehensweise der Arbeit auf Basis von ASD – Agile Systems Design

Obwohl ASD – Agile Systems Design für mechatronische Systeme entwickelt wurde (Albers, Heimicke, Hirschter et al., 2018), bietet ASD geeignete Ansätze um ingenieurwissenschaftliche Forschungsarbeiten zu planen. Speziell für diese Arbeit wurde

durch ASD das adäquate Maß an Flexibilität für die vier Prozessebenen bestimmt: Projektebene, Phasenebene, Aktivitätenebene, Methodendurchführung.⁹⁵ Die Planung der sechs Phasen der Arbeit⁹⁶ erfolgte auf der Projektebene. Das Forschungsprojekt unterliegt einem hybriden Modell mit definierten Meilensteinen, teilweise simultanen Aktivitäten zwischen den Meilensteinen sowie zum Teil sequentiell und zum Teil iterativ durchgeführten Forschungsmethoden. Die Meilensteine sind die strukturgebenden Elemente, bei denen die Forschungsergebnisse der sechs Phasen der Arbeit vorlagen. Im Wesentlichen sind die Inhalte der sechs Phasen in den Phasen der Design Research Methodology wiederzufinden. Auf die Phasen der Design Research Methodology wird in Kapitel 3.2.2 detailliert eingegangen. Die Aktivitäten, die während den Phasen durchgeführt wurden, wurden auf der Phasenebene mit Hilfe des integrated Design Support Development Model von Marxen (2014) geplant. Auf der Aktivitätenebene wurde die Methodendurchführung geplant, indem mit Hilfe der Methodensteckbriefe von Marxen (2014) kontextspezifisch die Forschungsmethoden ausgewählt wurden. Die Planung der Aktivitäten und die Auswahl der empirischen Methoden ist in Kapitel 3.2.3 beschrieben. Das Vorgehen der Methodendurchführungen und die resultierenden Ergebnisse sind jeweils in den Kapiteln zu den entsprechenden Untersuchungen dokumentiert.

3.2.2 Phasen der Arbeit auf Basis der Design Research Methodology

Das generische Rahmenwerk der Design Research Methodology (DRM) berücksichtigt Analyse- und Syntheseaktivitäten auf Basis einer iterativen Vorgehensweise. Fünf der sechs Phasen der Arbeit⁹⁷ entsprechen inhaltlich den vier Phasen der DRM. Die Phasen der DRM sind in Abbildung 3.1 auf die Arbeit adaptiert dargestellt. Die Kapitelnummerierung verdeutlicht, in welchem Kapitel welche Phase beschrieben ist. Abhängig von der Art der Forschung und der Forschungstiefe sind die Phasen *literaturbasiert*, *umfassend* oder *initial* ausgeprägt (Blessing & Chakrabarti, 2009, S. 15–19).

⁹⁵ vgl. Kap. 2.1.2.3: Auswahl des situations- und bedarfsgerechten Maßes an Flexibilität auf verschiedenen Prozessebenen durch ASD – Agile Systems Design

⁹⁶ vgl Kap. 3.1.3

⁹⁷ vgl Kap. 3.1.3

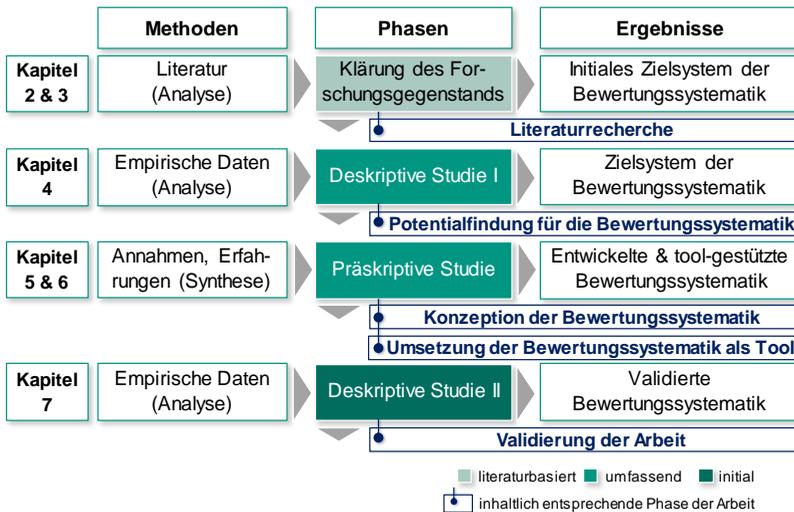


Abbildung 3.1: Die DRM nach Blessing und Chakrabarti (2009) adaptiert auf die Arbeit

Die erste Phase der DRM *Klärung des Forschungsgegenstands* entspricht in dieser Arbeit der ersten Phase der Arbeit *Literaturrecherche* (Kapitel 2 und Kapitel 3). Auf Grundlage der in der Literatur identifizierten Forschungslücke wird der Forschungsbedarf und das Ziel der Arbeit abgeleitet. Das initiale Zielsystem der Bewertungssystematik ist das Resultat der Phase. Die zweite Phase der DRM *Deskriptive Studie I* entspricht in dieser Arbeit der zweiten Phase der Arbeit *Potentialfindung für die Bewertungssystematik* (Kapitel 4). Ziel der Phase ist es, den Bedarf an einer Bewertungssystematik bei dem automobilen Zulieferer für Common-Rail Pumpen aufzuzeigen und das Zielsystem der Bewertungssystematik zu entwickeln. Die dritte Phase der DRM *Präskriptive Studie* entspricht in dieser Arbeit der dritten Phase der Arbeit *Konzeption der Bewertungssystematik* (Kapitel 5) und der vierten Phase der Arbeit *Umsetzung der Bewertungssystematik als Tool* (Kapitel 6). Die Ergebnisse der Phase sind die gestaltete Entwicklungsunterstützung in Form der entwickelten Bewertungssystematik und in Form der als Tool umgesetzten Bewertungssystematik. Die vierte Phase der DRM *Deskriptive Studie II* entspricht in dieser Arbeit der fünften Phase der Arbeit *Validierung der Arbeit* (Kapitel 7). Aus der Phase geht her-

vor, inwiefern die Ergebnisse der Präskriptiven Studie die Anforderungen des Zielsystems der Bewertungssystematik aus der Deskriptiven Studie I für Common-Rail Pumpen der automobilen Zulieferindustrie erfüllen. In der sechsten Phase der Arbeit *Identifikation weiterführender Forschung* (Kapitel 8) wird das Potential für weitere Forschungsarbeiten bestimmt, die in Zusammenhang mit dem Forschungsprojekt stehen. Diese Phase entspricht keiner Phase der DRM.

Für die Phase der DRM *Deskriptive Studie II* sind in der Phase der DRM *Klärung des Forschungsgegenstands* und in der Phase der DRM *Deskriptive Studie I* die zu bewertenden Anforderungen (Blessing & Chakrabarti, 2009) des Zielsystems der Bewertungssystematik zu identifizieren. Blessing und Chakrabarti (2009) unterscheiden zwischen nicht-messbaren und messbaren Anforderungen, die mit quantitativen und qualitativen Forschungsmethoden evaluiert werden können. Die messbaren Anforderungen sind mit drei Arten der Evaluation zu überprüfen. Die erste Art ist die Support Evaluation (dt. sinngemäß: unterstützende Evaluation), die in der Phase der DRM *Präskriptive Studie* der kontinuierlichen Verifizierung der Ergebnisse mit dem Zielsystem der Bewertungssystematik dient. Die Application Evaluation (dt. sinngemäß: anwendungsbezogene Evaluation) ist die zweite Art, die in der Phase der DRM *Deskriptive Studie II* die Beurteilung der Anwendbarkeit und der Übertragbarkeit auf weitere Common-Rail Pumpen mit Hilfe quantitativer Forschungsmethoden beinhaltet. Die dritte Art ist die Success Evaluation (dt. sinngemäß: erfolgsbezogene Evaluation), die in der Phase der DRM *Deskriptive Studie II* die Beurteilung der Anforderungen mit Hilfe einer qualitativen Forschungsmethode und die Zusammenführung der Evaluationsergebnisse umfasst. (Blessing & Chakrabarti, 2009, 26, 184-185) Sowohl in der Phase der DRM *Deskriptive Studie I*, als auch in der Phase der DRM *Deskriptive Studie II* werden die Systemumgebungen von zwei Pumpengenerationen mit individuellen Kennzeichen⁹⁸ betrachtet. Nach Marxen und Albers (2012) ist somit von einer Validierung der Arbeit unter Beachtung der Randbedingungen der Forschungsumgebung⁹⁹ zu sprechen. Mit den drei Evaluationsarten der DRM werden in dieser Arbeit die drei Teilaktivitäten der Validierung abgebildet, indem die kontinuierliche Verifizierung der Anforderungen durch die Support Evaluation, die Objektivierung der Anforderungen mit Hilfe der quantitativen Forschungsmethoden durch die Application Evaluation und die Bewertung der Anforderungen mit Hilfe der qualitativen Forschungsmethode durch die Success Evaluation dargestellt werden.

⁹⁸ vgl. Kap. 3.3.2: Unterschiede der dritten und der vierten Produktgeneration der Common-Rail Pumpen in der Forschungsumgebung

⁹⁹ vgl. Kap. 3.3

3.2.3 Empirische Methoden der Arbeit

Das integrated Design Support Development Model (iDSDM) wurde entwickelt, um den Entwickler einer Entwicklungsunterstützung während eines Forschungsprojekts zu unterstützen. Nach Marxen (2014) unterliegt ein Forschungsprojekt dem erweiterten ZHO-Modell¹⁰⁰. Das iDSDM ist in Abbildung 3.2 auf die Arbeit adaptiert dargestellt.

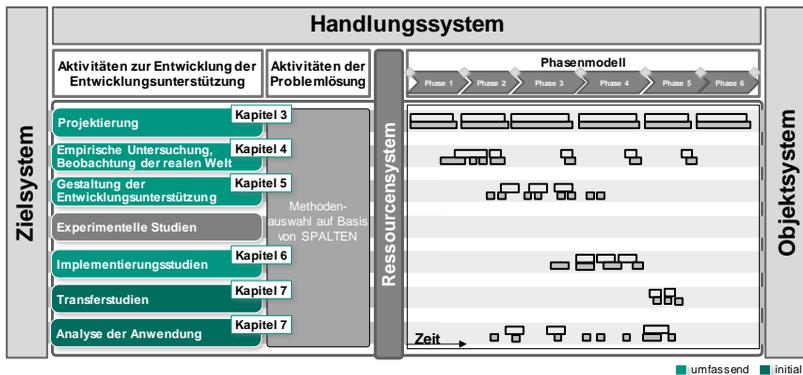


Abbildung 3.2: Das iDSDM nach Marxen (2014) adaptiert auf die Arbeit

Das Modell basiert auf der Struktur des iPeM¹⁰¹. (Marxen, 2014, S. 167–168) Die Aktivitäten zur Entwicklung der Entwicklungsunterstützung sind analog zur DRM in dieser Arbeit entweder initial oder umfassend ausgeprägt. Die Kapitelnummerung verdeutlicht, in welchem Kapitel welche Aktivität beschrieben ist. Für diese Arbeit ist das iDSDM um das Phasenmodell erweitert, indem die sechs Phasen der Arbeit mit Meilensteinen¹⁰² dargestellt sind. Für die sechs Phasen sind die wiederkehrenden Aktivitäten zur Entwicklung der Entwicklungsunterstützung in Abhängigkeit der Zeit

¹⁰⁰ vgl. Kap. 2.1.1.3: Eine Entwicklungsunterstützung wird durch die Überführung des dazugehörigen Zielsystems in das Objektsystem durch das Handlungssystem entwickelt.

¹⁰¹ vgl. Kap. 2.1.2.2

¹⁰² vgl. Kap. 3.2.1: Vorgehensweise der Arbeit auf Basis von ASD – Agile Systems Design

abgebildet. Die Aktivitäten des Referenzprozesses verdeutlichen das geplante Vorgehen zu Beginn der Arbeit (hellgrau). Die Aktivitäten des IST-Prozesses entsprechen dem tatsächlich durchgeführten Vorgehen der Arbeit (dunkelgrau). Durch das Phasenmodell ist aufgezeigt, dass Aktivitäten zum Teil simultan durchgeführt wurden. Am Beispiel der Aktivität *Empirische Untersuchung* ist zu erkennen, dass zum einen Aktivitäten mit definiertem Start- und Endzeitpunkt (z.B. Fragebogenstudie) und zum anderen iterativ durchgeführte Studien (z.B. Interviews) implementiert wurden (IST-Prozess). Hinsichtlich der Aktivität *Analyse der Anwendung* wird deutlich, dass die Ergebnisse der Arbeit nicht wie geplant sequentiell (Referenzprozess), sondern durch wiederkehrende Aktivitäten iterativ evaluiert wurden (IST-Prozess).

Die Steckbriefe der Forschungsmethoden, die in den Phasen der Arbeit Anwendung fanden, sind im Folgenden vorgestellt. Die Gründe für die Auswahl der jeweiligen Forschungsmethode sind farblich hervorgehoben.

Das Interview (Abbildung 3.3) ist eine Art der Befragung, die in der empirischen Sozialwissenschaft zur Datenerhebung am häufigsten Anwendung findet. Unterschieden wird zwischen standardisierten, teilstandardisierten und nichtstandardisierten Interviews. Ein Interview-Leitfaden ist charakteristisch für ein teilstandardisiertes Expertengespräch, das dem Befragten die Themen während des Gesprächs vorgibt. (Bortz & Döring, 2006, S. 237–239) Diese Forschungsmethode kam in den Phasen *Potentialfindung für die Bewertungssystematik*, *Konzeption der Bewertungssystematik*, *Umsetzung der Bewertungssystematik als Tool* und *Validierung der Arbeit* zum Einsatz.

Interview	
Anwendungsfeld: <ul style="list-style-type: none">■ Explorative Forschung mit dem Ziel, Forschungsbedarf zu identifizieren■ Empirische Forschung, Analyse von realen Entwicklungsprozessen■ Anwendungsstudien, Einsatz von Entwicklungsunterstützung in realen Prozessen	
+ Vorteile: <ul style="list-style-type: none">■ Direkte Datensammlung, da der Beobachter Daten aufnimmt■ Zugänglichkeit von Erfahrungswissen der Befragten■ Individuelle thematische Präferenz der Befragten können bei nicht-standardisiertem Interview aufgenommen werden	- Nachteile: <ul style="list-style-type: none">■ Wissenschaftliche Akzeptanz■ Die Befragten können ungenaue oder unvollständige Daten liefern■ Fragen müssen bei standardisiertem Interview präzise und eindeutig formuliert werden

Abbildung 3.3: Steckbrief der Forschungsmethode „Interview“ nach Marxen (2014, S. 104)

Durch die mehrjährige Forschung baut der Forscher über den Zeitraum fundiertes Wissen über den Forschungsbereich auf. Die teilnehmende Beobachtung (Abbildung 3.4) ist die zugrunde gelegte Forschungsmethode, die in den Phasen *Potentialfindung für die Bewertungssystematik*, *Konzeption der Bewertungssystematik* und *Umsetzung der Bewertungssystematik als Tool* unterstützend herangezogen wurde.

Teilnehmende Beobachtung**Anwendungsfeld:**

- Empirische Forschung, Analyse von realen Entwicklungsprozessen
- Anwendungsstudien, Einsatz von Entwicklungsunterstützung in realen Prozessen
- Langzeitprojekte, welche Einblicke in Entwicklungsaktivitäten und Prozesse ermöglichen, indem die Datenquelle eine soziale Gruppe ist

**Vorteile:**

- Direkte Datensammlung, da der Beobachter ein Teil der Datenquelle ist

**Nachteile:**

- Beobachtung kann die Entwickler von den Aktivitäten ablenken
- Abläufe entsprechen nicht der Realität, da die Beobachtungssituation bekannt ist

Abbildung 3.4: Steckbrief der Forschungsmethode „Teilnehmende Beobachtung“ nach Marxen (2014, S. 82)

Auf Basis von retrospektiven Protokollen (Abbildung 3.5) wurde in der Phase *Validierung der Arbeit* die Auswahl an Varianten vorgenommen, mit denen die Bewertungssystematik hinsichtlich der Anwendbarkeit überprüft wurde.

Retrospektives Protokoll**Anwendungsfeld:**

- Empirische Forschung, Analyse von realen Entwicklungsprozessen
- Menschzentrierte Forschung an der Entwicklungsmethodik
- Wenn eine Zusammenfassung gegenüber einer detaillierten Beschreibung bevorzugt wird

**Vorteile:**

- Entwicklungsaktivitäten bleiben durch Beobachter oder unnatürliche Situation unberührt
- **Zugänglichkeit von realen Prozessen**
- Daten sind bereits zusammengefasst, wenn sie gesammelt werden

**Nachteile:**

- Produziert nicht viele Daten, sondern eine zusammengefasste Version
- Indirekte Datensammlung
- Die Befragten können ungenaue oder unvollständige Daten liefern

Abbildung 3.5: Steckbrief der Forschungsmethode „Retrospektives Protokoll“ nach Marxen (2014, S. 87)

Um die realen Entwicklungsprozesse und Entwicklungsaktivitäten in der Phase *Potentialfindung für die Bewertungssystematik* zu untersuchen, wurde die Inhaltsanalyse (Abbildung 3.6) auf Basis von Datensätzen angewendet.

Inhaltsanalyse	
Anwendungsfeld:	
<ul style="list-style-type: none">■ Empirische Forschung, Analyse von realen Entwicklungsprozessen■ Menschzentrierte Forschung an der Entwicklungsmethodik■ Projekte, welche Einblicke in Entwicklungsaktivitäten und Prozesse ermöglichen, indem die Datenquelle eine soziale Gruppe ist■ Beobachter ist nicht Teil der Datenquelle	
+ Vorteile:	- Nachteile:
<ul style="list-style-type: none">■ Gesammelte Daten sind nicht verfälscht und durch Entwicklungsaktivitäten beeinflusst■ Entwicklungsaktivitäten bleiben durch Beobachter oder unnatürliche Situation unberührt■ Geringer Aufwand für den Forscher zur Datenerhebung, sogar für große Stichprobenumfänge	<ul style="list-style-type: none">■ Gefahr von überhäuften Datenmengen■ Hoher Zeitaufwand■ Kein Maßstab, um Vollständigkeit der Daten zu bestimmen

Abbildung 3.6: Steckbrief der Forschungsmethode „Inhaltsanalyse“ nach Marxen (2014, S. 94)

Anwendungsstudien wurden als eine Form der Fallstudie (Abbildung 3.7) in der Phase *Validierung der Arbeit* durchgeführt, um die Zielerreichung für ausgewählte Anwendungsfälle zu objektivieren.

Fallstudie	
Anwendungsfeld: <ul style="list-style-type: none"> ■ Explorative Forschung mit dem Ziel, Forschungsfragen zu identifizieren ■ Empirische Forschung, Analyse von realen Entwicklungsprozessen ■ Anwendungsstudien, Einsatz von Entwicklungsunterstützung in realen Prozessen ■ Untersuchung von komplexen Situationen, wenn das Ziel ein ganzheitliches Bild ist ■ Identifikation von Hypothesen und Falsifizierung von Theorien ■ Zeigt Anwendbarkeit / Nutzen einer Entwicklungsunterstützung 	
+ Vorteile: <ul style="list-style-type: none"> ■ Ganzheitlicher Ansatz ■ Funktioniert auch in komplexen Situationen 	- Nachteile: <ul style="list-style-type: none"> ■ Wissenschaftliche Akzeptanz ■ Aufwand durch die notwendige Anwendung von verschiedenen Forschungsmethoden

Abbildung 3.7: Steckbrief der Forschungsmethode „Fallstudie“ nach Marxen (2014, S. 98)

Insgesamt wurden zwei Fragebogenstudien (Abbildung 3.8) implementiert. Die erste Studie unterstützte in der Phase *Potentialfindung für die Bewertungssystematik* und die zweite Studie in der Phase *Validierung der Arbeit*.

Fragebogen	
Anwendungsfeld: <ul style="list-style-type: none"> ■ Empirische Forschung, Analyse von realen Entwicklungsprozessen ■ Experimentelle Studien, Evaluation in kontrollierten Umgebungen ■ Anwendungsstudien, Einsatz von Entwicklungsunterstützung in realen Prozessen ■ Felder der Entwicklungsmethodik, in der die Wahrnehmung der Menschen bzgl. einer Situation oder einem Prozess von Interesse ist 	
+ Vorteile: <ul style="list-style-type: none"> ■ Direkte Datenerfassung ■ Einfacher Zugang zu großen Stichproben ■ Große Anzahl an zur Verfügung stehenden Online-Umfrage-Tools 	- Nachteile: <ul style="list-style-type: none"> ■ Forscher kann nicht eingreifen ■ Fragen müssen präzise und eindeutig formuliert werden. ■ Missverständnisse können die Studie ruinieren

Abbildung 3.8: Steckbrief der Forschungsmethode „Fragebogen“ nach Marxen (2014, S. 106)

3.3 Forschungsumgebung

Die Forschungsarbeit erfolgte im Rahmen eines dreijährigen Forschungsprojekts bei der Robert Bosch GmbH. Aufgrund der fachbereichsübergreifenden Forschung ist das Forschungsprojekt bei dem Fachbereich *Manufacturing Engineering* verortet, der die Koordination des weltweiten Produktionsnetzwerks für CP mit den verschiedenen Fachbereichen (z.B. Produktentwicklung, Fertigung, Einkauf) verantwortet. Die Robert Bosch GmbH ist als internationaler Automobilzulieferer für Common-Rail Systeme in Kapitel 3.3.1 vorgestellt. Die zwei für diese Arbeit relevanten Produktgenerationen¹⁰³ der CP sind in Kapitel 3.3.2 erläutert. Die Auswahl der Experten, die bei dem Forschungsprojekt unterstützt haben, ist in Kapitel 3.3.3 zu finden.

¹⁰³ vgl. Kap. 3.2: Die Forschungsumgebungen von zwei, in spezifischen Elementen unterschiedlichen Produktgenerationen sind notwendig, um die Arbeit zu validieren.

3.3.1 Robert Bosch GmbH – Powertrain Solutions

Die Bosch-Gruppe ist ein weltweit agierendes Technologie- und Dienstleistungsunternehmen, das 1886 mit dem Unternehmensnamen *Werkstätte für Feinmechanik und Elektrotechnik* in Stuttgart gegründet wurde. Weltweit sind 410.000 Mitarbeiter beschäftigt und die Gruppe erzielte im Geschäftsjahr 2018 einen Umsatz von 77,9 Milliarden Euro. Der größte Anteil des Umsatzes erwirtschaftete der Unternehmensbereich Mobility Solutions. Zu dem Unternehmensbereich zählt unter anderem der Geschäftsbereich Powertrain Solutions, der Anfang 2018 gegründet wurde. Der Geschäftsbereich stellt den Zusammenschluss des Bereichs Elektromobilität mit den existierenden Geschäftsbereichen Gasoline Systems und Diesel Systems dar. Weitere Unternehmensbereiche sind Industrial Technology, Consumer Goods sowie Energy and Building Technology, die im Rahmen der Arbeit nicht weiter betrachtet sind. (Robert Bosch GmbH, 2018, 2019a)

Die Markteinführung des ersten Common-Rail Systems der Bosch-Gruppe war 1997. Mit diesem Einspritzsystem für Dieselmotoren wird eine flexible Einspritzung des Kraftstoffs mit einem erforderlichen Einspritzdruck ermöglicht, wobei die Einspritzung und die Druckerzeugung voneinander getrennt sind. Das Common-Rail System (Abbildung 3.9) wird zumeist als System verkauft, das aus unterschiedlichen Subsystemen besteht. Zu den Subsystemen zählt die CP, die die Druckerzeugung übernimmt. Der Name des Common-Rail Systems ist auf das Hochdruckrail zurückzuführen, das die CP mit den Injektoren verbindet und den verdichteten Kraftstoff speichert. Die Injektoren sind für die zeit- und mengengerechte Einspritzung des Kraftstoffs in den Brennraum der Motorzylinder verantwortlich. Die Kraftstoffzufuhr und die Kraftstoffeinspritzung werden von dem Motorsteuergerät geregelt, welches die zentrale Steuereinheit des Motormanagementsystems darstellt. (Robert Bosch GmbH, 2019a)



Abbildung 3.9: Das Common-Rail System der Robert Bosch GmbH (Robert Bosch GmbH, 2019b)

3.3.2 Die Common-Rail Pumpen CP3 und CP4

Die erste Dieseleinspritzpumpe von der Bosch-Gruppe ging 1927 für den Nutzfahrzeugmarkt in die Serienfertigung. 1936 folgte die erste Dieseleinspritzpumpe für den Pkw-Markt. (Robert Bosch GmbH, 2019a) In einer Fallstudie (Peglow et al., 2017) wurden die vier Produktgenerationen der CP bei der Robert Bosch GmbH untersucht. In Abbildung 3.10 sind die vier Produktgenerationen in Abhängigkeit der Zeit am Markt bis zum Zeitpunkt des Forschungsprojekts in ausgefüllten Pfeilen und ab dem Zeitpunkt des Forschungsprojekts mit weißen Pfeilen dargestellt. Für jede Produktgeneration ist das Basis-Referenzprodukt verdeutlicht, wobei das Referenzsystem einer Produktgeneration weitere, nicht aufgeführte Referenzprodukte umfasst.

Nach der Nomenklatur der Karlsruher Schule für Produktentwicklung steht der Eigenname der ersten Produktgeneration CP1 für $G_1^{\text{Bosch, CP}}$, der Eigenname der zweiten Produktgeneration CP3 für $G_2^{\text{Bosch, CP}}$, der Eigenname der dritten Produktgeneration CP1H für $G_3^{\text{Bosch, CP}}$ und der Eigenname der vierten Produktgeneration CP4 für $G_4^{\text{Bosch, CP}}$. Im Folgenden sind die Eigennamen der Produktgenerationen verwendet.

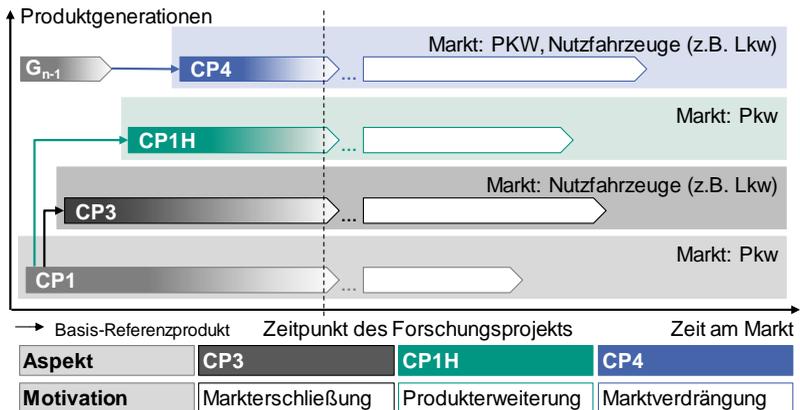


Abbildung 3.10: Die Common-Rail Pumpen der Robert Bosch GmbH (Peglow et al., 2017)

Mit jeder Produktgeneration wurde das Ziel verfolgt, eine Leistungssteigerung unter anderem durch die Erhöhung des Einspritzdrucks zu erreichen. Zur Druckerzeugung für Pkw-Anwendungen gibt es Radialkolbenpumpen mit ein bis drei Pumpenkolben, die den Kraftstoff innerhalb der Hochdruckpumpe verdichten. Die CP1 war für den Pkw-Markt vorgesehen, wohingegen die CP3 infolge einer Markterschließung für Nutzfahrzeuge eingeführt wurde. Infolge der steigenden Leistungsanforderungen an Pkws wurde die CP1H auf Basis der CP1 weiterentwickelt. Das Basis-Referenzprodukt der CP4 ist ein Antriebskonzept einer Produktgeneration (G_{n-1}), das in Märkten anderer Anwendungsbereiche bekannt, aber bei der Robert Bosch GmbH zu dem Zeitpunkt nicht adaptiert war. Im Vergleich zu den Vorgängergenerationen können mit der CP4 höhere Einspritzdrücke erreicht werden. Die Vorgängergenerationen sollen langfristig durch die CP4 am Markt für Pkws und Nutzfahrzeuge verdrängt werden. (Peglow et al., 2017; Reif, 2010, S. 45–53)

Für das Forschungsprojekt wurde stellvertretend für die CP der automobilen Zulieferindustrie die Systemumgebung der CP4 mit den Experten der CP4 ausgewählt, da von den vier Produktgenerationen die CP4 die größte Variantenanzahl aufweist. Die Systemumgebung der CP3 mit den Experten der CP3 wurde für die Phase der Arbeit *Potentialfindung für die Bewertungssystematik* zur Spezifizierung des Forschungsbedarfs und für die Phase der Arbeit *Validierung der Arbeit* zur Beurteilung der Übertragbarkeit der Bewertungssystematik auf Systemumgebungen weiterer CP ausgewählt. In Abbildung 3.11 ist beispielhaft eine Variante der CP3 (links) und eine Variante der CP4 (rechts) visualisiert.

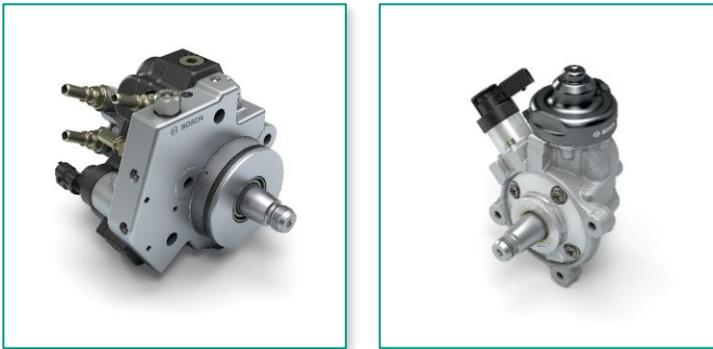


Abbildung 3.11: Die Common-Rail Pumpen CP3 (links) und CP4 (rechts) der Robert Bosch GmbH (Robert Bosch GmbH, 2019b)

Neben den genannten Unterschieden zwischen der CP4 und der CP3 hinsichtlich des Antriebskonzepts, befindet sich die CP3 auch in einer fortgeschrittenen Phase des Produktlebenszyklus. Im Vergleich zur CP3 beruht die CP4 als einzige der vier Produktgenerationen auf einem modularen Baukasten. Der modulare Aufbau erlaubt ein bedarfsgerechtes Erweitern definierter Plattformen um weitere Module (z.B. Schmierpaket). Bei der Entwicklung der CP4 wurde eine Vielzahl an Varianten vorgesehen, die mit einem einheitlichen Fertigungskonzept gefertigt werden können. Zur Erprobung der Plattformen sind entsprechende Maßnahmen definiert (nachfolgend: Plattformerprobung). (Peglow et al., 2017; Reif, 2010, S. 45–53) Vergleichsweise werden zum Zeitpunkt des Forschungsprojekts mehr CP4-Varianten als CP3-Varianten in hohen Stückzahlen angefragt.

3.3.3 Involvierte Experten

Aufgrund der Interdisziplinarität des Forschungsprojekts waren Experten der CP3 und der CP4 verschiedener Fachbereiche und Hierarchieebenen bei den Untersuchungen involviert (Tabelle 9). Die Experten wurden aufgrund deren Interesse an einem systematischen Umgang mit Variantenvielfalt, deren Kapazität während des Forschungsprojekts und insbesondere deren Fachexpertise hinsichtlich des Variantenmanagements auf deren individuellen Hierarchieebenen ausgewählt. Für die Experten sind in den Spalten zu den Kapiteln jeweils Haken gesetzt, wenn diese in den zugehörigen Untersuchungen beteiligt waren. Die Teilnehmer der Fragebogenstudien sind nicht aufgelistet, da die Studien anonym durchgeführt wurden. Die in der Arbeit involvierten Experten sind im Folgenden mit der Kennzeichnung *Experte Ziffer* benannt, wobei *Ziffer* für die numerische Reihenfolge der aufgelisteten Experten steht. Die Experten sind entsprechend des Fachbereichs kategorisiert, wobei die Experten mit den Ziffern eins bis acht aufgrund der Führungsebene in die Kategorie *Management* eingestuft sind. Der Produktentwicklung sind die Experten mit den Ziffern zehn bis 24 zugeordnet. Die Validierung ist in der Systemumgebung der CP3 und in der Systemumgebung der CP4 kein eigenständiger Fachbereich. Diese Experten gehören in den Systemumgebungen der CP3 und der CP4 der Produktentwicklung (nachfolgend: Entwicklung) an. Zu der Fertigung zählen die Experten mit den Ziffern 25 bis 37, zu dem Einkauf die Experten mit den Ziffern 38 bis 43 und zu dem Produktmanagement die Experten mit den Ziffern 44 bis 48. Die Experten mit den Ziffern 49 bis 60 sind als Kategorie *Sonstige* zusammengefasst.

Tabelle 9: Bei dem Forschungsprojekt involvierte Experten

	Experten	Funktion	CP		Kapitel			
			CP4	CP3	4	5	6	7
Management	Experte1	Manager Geschäftsbereich	✓	✓	✓			
	Experte2	Manager Geschäftsbereich Fertigung	✓	✓	✓		✓	
	Experte3	Manager Geschäftsbereich Entwicklung	✓	✓			✓	
	Experte4	Manager Produktbereich	✓	✓				✓
	Experte5	Manager Produktbereich Fertigung	✓	✓				✓
	Experte6	Manager Produktbereich Entwicklung	✓	✓				✓
	Experte7	Technische Leiter Produktionsnetzwerk	✓	✓				✓
	Experte8	Kaufmännische Leiter Produktionsnetzwerk	✓	✓				✓
Produktentwicklung	Experte9	Bereichsleiter Produktentwicklung	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Experte10	Abteilungsleiter Konstruktion	✓				✓	✓
	Experte11	Abteilungsleiter Kundenteams Entwicklung	✓				✓	
	Experte12	Abteilungsleiter Kundenteams Entwicklung		✓	✓			✓
	Experte13	Abteilungsleiter Plattformentwicklung	✓		✓		✓	
	Experte14	Abteilungsleiter Plattformentwicklung		✓	✓			✓
	Experte15	Kundenteamleiter Entwicklung	✓			✓		
	Experte16	Kundenteamleiter Entwicklung	✓		✓			✓
	Experte17	Kundenteamleiter Entwicklung	✓					✓
	Experte18	Kundenteamleiter Entwicklung	✓					✓
	Experte19	Gruppenleiter Konstruktion	✓					✓
Validierung	Experte20	Teamleiter Plattformentwicklung	✓		✓	✓	✓	
	Experte21	Experte Plattformentwicklung	✓		✓		✓	
	Experte22	Abteilungsleiter Erprobung	✓			✓		
	Experte23	Experte Erprobung	✓			✓		
Fertigung	Experte24	Experte Erprobung	✓			✓		
	Experte25	Bereichsleiter Produktionsnetzwerk	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Experte26	Bereichsleiter Anlauf Serienfertigung	✓				✓	
	Experte27	Bereichsleiter Fertigung	✓		✓	✓		
	Experte28	Bereichsleiter Fertigung		✓	✓			✓
	Experte29	Abteilungsleiter Änderungswesen	✓		✓			
	Experte30	Abteilungsleiter Simultaneous Engineering	✓				✓	
	Experte31	Abteilungsleiter Produktionsnetzwerk	✓			✓	✓	
	Experte32	Gruppenleiter Produktionsnetzwerk	✓			✓		
	Experte33	Experte Änderungswesen	✓		✓	✓	✓	✓
	Experte34	Experte Produktionsnetzwerk	✓			✓		
	Experte35	Experte Anlauf Serienfertigung	✓					✓
	Experte36	Experte Anlauf Serienfertigung	✓					✓
Experte37	Experte Anlauf Serienfertigung	✓					✓	

		CP		Kapitel			
Experten	Funktion	CP4	CP3	4	5	6	7
Einkauf	Experte38	Bereichsleiter Einkauf	✓	✓			✓
	Experte39	Abteilungsleiter Einkauf	✓	✓	✓		✓
	Experte40	Gruppenleiter Einkauf	✓		✓	✓	
	Experte41	Gruppenleiter Einkauf		✓	✓		✓
	Experte42	Experte Einkauf	✓		✓	✓	
	Experte43	Experte Einkauf	✓				✓
Produktmanagement	Experte44	Bereichsleiter Produktmanagement	✓	✓			✓
	Experte45	Abteilungsleiter Produktmanagement	✓	✓	✓	✓	
	Experte46	Experte Produktmanagement	✓		✓	✓	✓
	Experte47	Experte Produktmanagement	✓		✓		✓
	Experte48	Experte Produktmanagement		✓	✓		✓
Sonstige	Experte49	Projektleiter Softwareentwicklung	✓				✓
	Experte50	Experte Softwareentwicklung	✓				✓
	Experte51	Experte Softwareentwicklung	✓				✓
	Experte52	Bereichsleiter Qualitätsmanagement	✓	✓	✓		
	Experte53	Abteilungsleiter Materialdisposition	✓		✓		
	Experte54	Abteilungsleiter physische Logistik	✓		✓		
	Experte55	Kundenteamleiter Vertrieb	✓	✓	✓		
	Experte56	Kundenteamleiter Vertrieb	✓	✓	✓		
	Experte57	Kundenteamleiter Vertrieb	✓	✓	✓		
	Experte58	Kundenteamleiter Vertrieb	✓	✓	✓		
	Experte59	Experte Controlling	✓		✓		
Experte60	Experte Mediendesign	✓	✓			✓	

4 Zielsystem der Bewertungssystematik für Common-Rail Pumpen

Dieses Kapitel umfasst die Forschungsergebnisse während der zweiten Phase der Arbeit¹⁰⁴ *Potentialfindung für die Bewertungssystematik*. Ziel der Phase ist es, den in der Phase *Literaturrecherche* identifizierten Forschungsbedarf für CP bei dem automobilen Zulieferer zu spezifizieren und das aus dem Stand der Forschung resultierende initiale Zielsystem der Bewertungssystematik zu dem Zielsystem der Bewertungssystematik für CP weiterzuentwickeln.¹⁰⁵ In Kapitel 4.1 sind die Ergebnisse aus der Untersuchung der Variantenvielfalt in der Angebotsphase der CP4 beschrieben. Das Kapitel 4.2 dient der Beschreibung der Ergebnisse der Fragebogenstudie zum Umgang mit Variantenvielfalt der CP4. Auf Basis der Ergebnisse wurde der Bedarf an der Bewertungssystematik für CP bestimmt (Kapitel 4.3). Im Fazit (Kapitel 4.4) sind die Ergebnisse zusammengefasst und reflektiert.

4.1 Variantenvielfalt in der Angebotsphase der CP4

In Abbildung 4.1 ist das Vorgehen zur Untersuchung der Variantenvielfalt in der Angebotsphase der CP4 dargestellt. In den Unterkapiteln sind die Aktivitäten der Analyse und der Synthese beschrieben, die während der Untersuchung durchgeführt wurden. Die Aktivitäten sind entsprechend in der Spalte Analyse oder in der Spalte Synthese aufgeführt. Die Analyseaktivitäten basieren auf teilstandardisierten Interviews und Inhaltsanalysen. Das Unterkapitel mit den Erkenntnissen ist grün hervorgehoben. Die Erkenntnisse resultieren aus der Interpretation der Ergebnisse aus der Untersuchung der Variantenvielfalt in der Angebotsphase der CP4 (Synthese) (Kapitel 4.1.4).

Teilstandardisierte Interviews (n=24) haben bei der Untersuchung der Angebotsphase und der Variantenvielfalt in der Forschungsumgebung unterstützt (Analyse) (Kapitel 4.1.1). Dafür wurden Experten verschiedener Fachbereiche und Hierarchieebenen ausgewählt, die in der Angebotsphase der CP4 involviert und die von der Variantenvielfalt der CP4 betroffen sind¹⁰⁶: Experte1, Experte2, Experte4, Experte9, Experte13, Experte20, Experte25, Experte27, Experte29, Experte33, Experte39,

¹⁰⁴ vgl. Kap. 3.2

¹⁰⁵ vgl. Kap. 3.2

¹⁰⁶ vgl. Kap. 3.3.3

Experte40, Experte42, Experte45, Experte46, Experte47, Experte52, Experte53, Experte54, Experte55, Experte56, Experte57, Experte58, Experte59. Die Entwicklung der CP4-Varianten auf Pumpen-, Baugruppen- und Bauteilebene wurde auf Basis der Datensätze (n=2) aus dem Jahr 2010 und aus dem Jahr 2016 untersucht (Analyse) (Kapitel 4.1.2). Zur Analyse der Variantenanfragen in der Angebotsphase wurden Datensätze für jedes Jahr von 2012 bis einschließlich 2016 (n=5) herangezogen. Daraus gehen die Anzahl der Kunden und deren angefragte Varianten hervor. Die Bewertungsmethoden in der Angebotsphase wurden mit den aufgezählten Experten (n=24) diskutiert (Analyse) (Kapitel 4.1.3). Inbegriffen sind unter anderem Methoden zur ökonomischen Bewertung in der Angebotsphase¹⁰⁷, die mit Hilfe von Datensätzen (n=12) der Monate aus dem Jahr 2017 untersucht wurden.

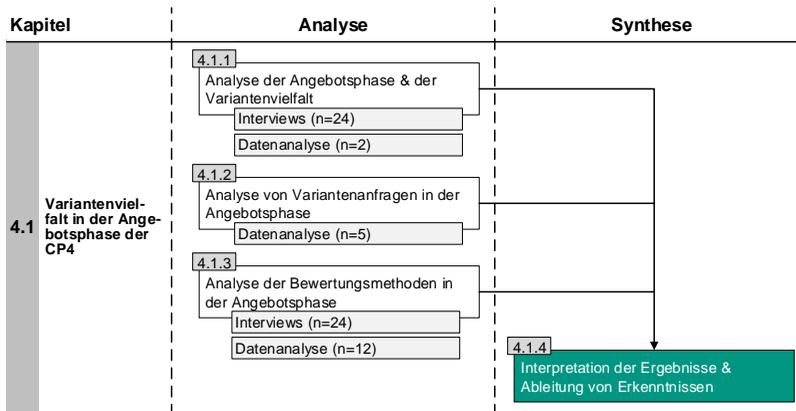


Abbildung 4.1: Vorgehen zur Untersuchung der Variantenvielfalt in der Angebotsphase der CP4

¹⁰⁷ vgl. Kap. 2.3.1.3: Aktivitäten und Methoden zur Bewertung in der Angebotsphase in der Literatur

4.1.1 Angebotsphase und Variantenvielfalt

Basierend auf Expertenaussagen (n=24) wurde der Referenzprozess¹⁰⁸ der Angebotsphase der CP4 modelliert (Abbildung 4.2). Übergeordnet sind die Aktivitäten der Angebotsphase, die in der Literatur beschrieben sind, abgebildet¹⁰⁹. Unternehmensspezifische Bezeichnungen und Teilprozesse sind abstrahiert und reduziert dargestellt. Die Modellierungstechnik wurde nach Albers, Reiß et al. (2013) gewählt¹¹⁰, da mit dieser Technik der Wissensfluss zwischen verschiedenen Entwicklerteams und die Aktivitäten der Produktentstehung mit den dazugehörigen Methoden abbildbar sind. Die Prozessschritte sind jeweils als Aktivitätsbox modelliert. Mit Hilfe der aufgeführten Aktivitäten der Produktentstehung und den verwendeten Methoden wird der Input zum Output transformiert. Weiterhin ist die Wissensquelle und das Wissensmanagementsystem aufgeführt. Der Standard-Wissensfluss ist mit einem durchgezogenen Pfeil und der alternative Wissensfluss mit einem gestrichelten Pfeil symbolisiert. Zum Zeitpunkt eines Quality Gates (QG) wird der aktuelle Status der Variantenanfrage dem Management des betroffenen Produktbereichs vorgestellt, welches über das weitere Vorgehen entscheidet. QG0 spiegelt den Zeitpunkt der Variantenanfrage wider. Das Kundenteam – bestehend aus Experten des Vertriebs und der Entwicklung – bestimmt auf Basis der Kundenanforderungen ein initiales Produktprofil der angefragten Variante. Zur Definition des initialen Zielsystems der Variante werden verschiedene Methoden (z.B. Produktkonfiguration) herangezogen, um das Produktprofil der Variante initial zu bewerten. Die dafür notwendigen Aktivitäten der Produktentstehung sind *Validieren & verifizieren*, *Wissen managen* und *Profile finden*, die als das Aktivitätenmuster 1 visualisiert sind. Abhängig vom eingeschätzten Neuentwicklungsanteil entscheidet das Kundenteam, ob QG1 notwendig ist. Bei einem hohen Neuentwicklungsanteil ist die Variante dem Management des Produktbereichs in QG1 vorzustellen. Dafür bereitet das Kundenteam basierend auf einer Berichtsvorlage und dem Aktivitätenmuster 1 einen Bericht vor, in welchem das Potential dieser Variante nach Rücksprache mit einem ausgewählten Expertenkreis zusammengefasst wird. Durch das Aktivitätenmuster 2 mit den Aktivitäten der Produktentstehung *Projekte managen*, *Wissen managen* und *Profile finden* entscheidet das Management des Produktbereichs über das weitere Vorgehen (QG1).

¹⁰⁸ vgl. Kap. 2.1.2.2: Abgrenzung des Referenz-, SOLL- und IST-Prozesses in der Prozessmodellierung

¹⁰⁹ vgl. Kap. 2.3.1.3: Aktivitäten in der Angebotsphase

¹¹⁰ vgl. Kap. 2.1.2.2 und Kap. 2.3.2.3: Grundlagen zu den Aktivitäten der Produktentstehung und Methoden im Rahmen des iPeM – integriertes Produktentstehungsmodell sowie zur Modellierungstechnik

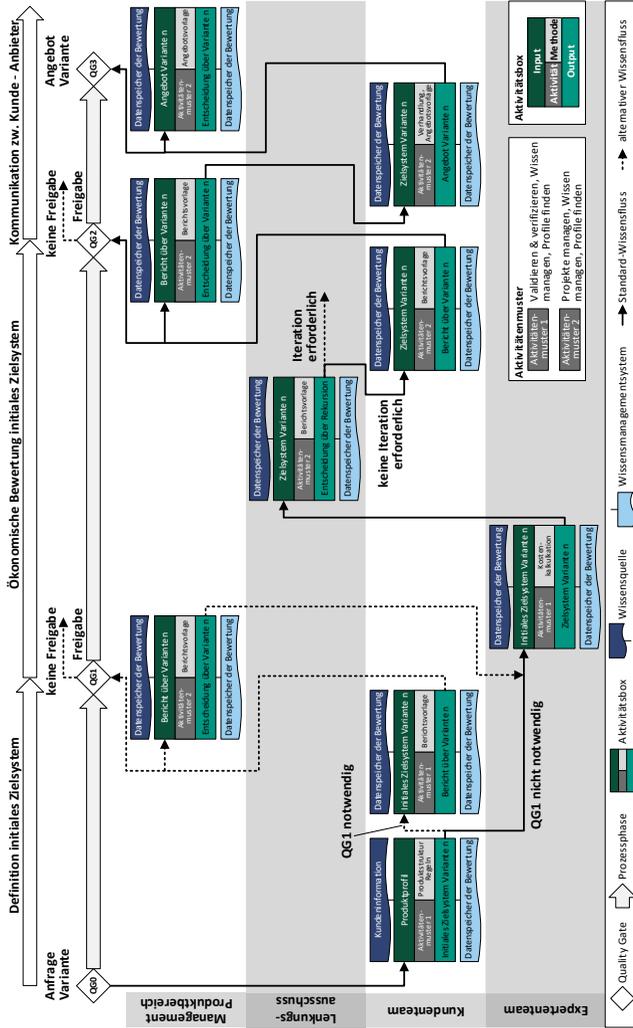


Abbildung 4.2: Referenzprozess der Angebotsphase der CP4 in Anlehnung an Peglow et al. (2019)

Im Falle einer Variante mit geringem Neuentwicklungsanteil erfolgt ohne QG1 die Bewertung des initialen Zielsystems durch das Expertenteam. Das Expertenteam besteht aus Experten der Entwicklung, der Fertigung, des Einkaufs und des Produktmanagements. Die ökonomische Bewertung des initialen Zielsystems einer Variante erfolgt durch das Aktivitätenmuster 1 in Form einer Kostenkalkulation und beinhaltet die Abfrage bei den Fachbereichen nach dem monetären Wert für die Auswirkungen auf die Elemente des Referenzsystems der Variante. Das Zielsystem der Variante ist das Resultat der ökonomischen Bewertung. Der Lenkungsausschuss als Leitung des Expertenteams entscheidet mit Hilfe des Aktivitätenmusters 2, ob die Kostenkalkulation plausibel und ob eine Iteration erforderlich ist. Experten des Expertenteams können selbst Teil des Lenkungsausschusses sein. Ist keine Iteration erforderlich, erarbeitet das Kundenteam einen Bericht über die bewertete Variante und stellt den Bericht dem Management des Produktbereichs vor (QG2). Das Management entscheidet wiederum über das weitere Vorgehen durch das Aktivitätenmuster 2. Aus der Kommunikation zwischen dem Kunden und dem Kundenteam des Anbieters gehen die aufbereiteten Verhandlungsergebnisse in Form eines Angebots hervor. Die Angebotsphase endet mit der Annahme oder der Ablehnung des Angebots seitens des Managements des Produktbereichs (QG3).

Während den teilstandardisierten Interviews wurden Aussagen aufgenommen, mit denen die Experten die Variantenvielfalt in der Angebotsphase der CP4 beschreiben. Treffende Aussagen sind in Abbildung 4.3 veranschaulicht.



Abbildung 4.3: Expertenaussagen zur Variantenvielfalt in der Angebotsphase der CP4 (Peglow, 2019)

Durch die Aussagen wird deutlich, dass zum einen eine Vielzahl an Kunden Varianten anfragen, die bei der Entwicklung der CP4 nicht im Produktportfolio vorgesehen waren (Abbildung 4.4: Experte46, 2016). Experte47 aus dem Produktmanagement

befürwortet eine proaktive, frühzeitige und umfassende Bewertung der Auswirkungen auf beispielsweise potentiell betroffene Prüf- und Messtechnologien sowie Fertigungstechnologien in der Eigen- und in der Fremdfertigung. Der Manager des Produktbereichs (Abbildung 4.4: Experte1, 2016) erläutert, dass Varianten negative Auswirkungen auf die Ressourcen haben, die sich in der Aufwands- und Ertragsrechnung widerspiegeln. Aus der Aussage des Experten des Einkaufs (Abbildung 4.4: Experte42, 2016) kann geschlossen werden, dass Mitarbeiter des Einkaufs erst nach Entscheidung über die Einführung einer Variante informiert und mit den dadurch resultierenden Herausforderungen konfrontiert werden. Zudem propagiert Experte40 eine frühzeitige Einbindung des Einkaufs in der Angebotsphase, um eine ausreichende Abstimmungsdauer mit den Zulieferern sicherstellen zu können. Darüber hinaus erachtet Experte56 aus dem Vertrieb eine interdisziplinäre Zusammenarbeit in der Angebotsphase als schwer umsetzbar, befürwortet jedoch eine funktionsbereichsübergreifende Bewertung vor der Kostenkalkulation. Experte57 aus dem Vertrieb erklärt, dass Variantenanfragen flexibel zu handhaben sind, da die Anforderungen an eine angefragte Variante hinsichtlich einer konkreten Formulierung – abhängig vom Kunden – variieren und sich im Zeitverlauf ändern können.

Die Auswertung der Datensätze (n=2) von 2010 (grün) und von 2016 (blau) zeigt die gestiegene Variantenzahl auf Pumpen-, Baugruppen- und Bauteilebene (Abbildung 4.4). In Summe sind auf allen Systemebenen (Pumpe, Baugruppe, Bauteil) 641 Varianten im Jahr 2010 und 1276 Varianten im Jahr 2016 identifiziert. Das entspricht einer Erhöhung der Variantenzahl auf allen Ebenen um 99%. Mit Fokus auf die Anzahl auf Pumpenebene ist eine Erhöhung der Variantenzahl um 142% feststellbar, die aus der Differenz von 57 Varianten im Jahr 2010 und 138 Varianten im Jahr 2016 hervorgeht. Auf Baugruppenebene sind 96 Varianten für das Jahr 2010 und 455 Varianten für das Jahr 2016 gelistet. Die Anzahl ist jeweils die Summe aus der Variantenzahl für die Baugruppen 1 bis 5. Die Variantenzahl auf Baugruppenebene ist somit um 374% gestiegen. Für die CP4 sind 27 Bauteile aufgeführt, die insgesamt 175 Varianten im Jahr 2010 und 309 Varianten im Jahr 2016 umfassen. Daraus resultiert eine Erhöhung der Variantenzahl auf Bauteilebene um 77%. Zu erkennen ist, dass die Baugruppen 2 und 5 sowie die Bauteile 5 und 23 im Zeitverlauf zwischen 2010 und 2016 in das Produktportfolio aufgenommen wurden. Weiterhin ist festzustellen, dass die Variantenzahl für Bauteil 7 in diesen Jahren reduziert werden konnte.

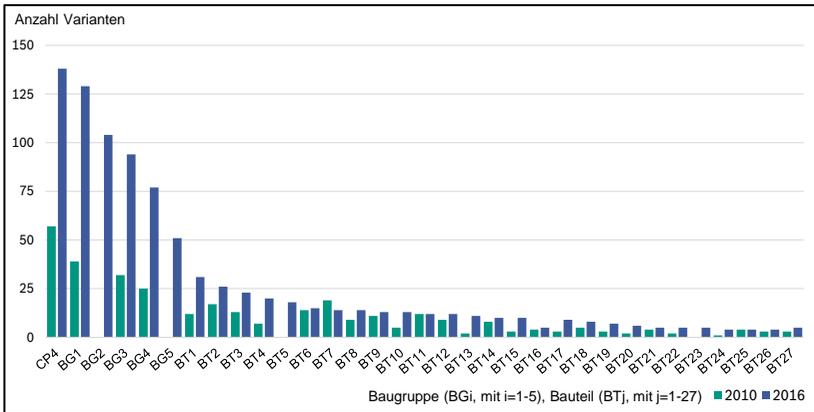


Abbildung 4.4: Variantenvielfalt der CP4

4.1.2 Variantenanfragen in der Angebotsphase

Zur Analyse der Variantenanfragen seitens der Kunden wurden für jedes Jahr von 2012 bis einschließlich 2016 Datensätze (n=5) untersucht. Diesen Datensätzen ist zu entnehmen, wann welche Variantenanfrage dem Management des Produktbereichs bei QG1, QG2 und QG3 zum Entscheid über das weitere Vorgehen vorgelegt wurde¹¹¹. QG0 ist nicht aufgeführt, da dieser Zeitpunkt nicht als Präsenztermin stattfindet. Über diese fünf Jahre wurden 46 Kunden gelistet, die in Summe 261 verschiedene Varianten angefragt haben (Abbildung 4.5).

¹¹¹ vgl. Kap. 4.1.1: Referenzprozess der Angebotsphase der CP4

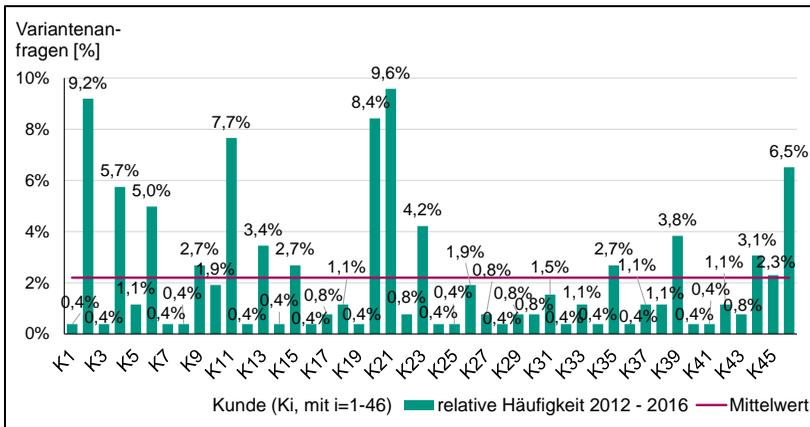


Abbildung 4.5: Variantenanfragen der CP4 von 2012 bis 2016

Jeder Kunde wird von einem Kundenteam betreut. Für jeden Kunden ist die relative Variantenanzahl aufgeführt, die das Verhältnis der absoluten Variantenanzahl des jeweiligen Kunden zur Gesamtanzahl der über diesen Zeitraum angefragten Varianten aller Kunden ist. 15 Kunden haben genau eine Variante angefragt (0,4%). Im Vergleich dazu sind auch Kunden mit einer Anzahl von beispielsweise 28 Varianten (9,2%) seitens des Kunden 2 und 29 Varianten (9,6%) seitens des Kunden 21 vertreten. Das arithmetische Mittel liegt bei 7 Varianten (2,2%) pro Kunde und die Standardabweichung beträgt 2,5%-Punkte.

Zusätzlich wurde untersucht, wie oft Variantenanfragen der Kunden über den Zeitraum von 2012 bis 2016 bei QG1, QG2 und QG3 vorgestellt wurden (Abbildung 4.6). Dabei ist jeweils die Anzahl der Variantenanfragen pro Kunde im Verhältnis zur gesamten Anzahl durchgeführter Quality Gates (384) dargestellt. Bei der Durchführung eines Quality Gates kann über mehrere Variantenanfragen entschieden werden. Neben QG1, QG2 und QG3 bestand für die Kundenteams zudem die Möglichkeit, bei einem Informationstermin eine Variantenanfrage rein informativ ohne Entscheidung vorzustellen. Pro Jahr wurden durchschnittlich 23 Varianten (6,0%) bei QG1, 28 Varianten (7,3%) bei QG2, 24 Varianten (6,2%) bei QG3 und 2 Varianten (0,5%) bei einem Informationstermin vorgestellt. Am Beispiel des Kunden 15 und des Kunden 45 ist zu erkennen, dass der Referenzprozess eingehalten ist. Jeweils ist die Teilnahme bei QG1 (Kunde 15: 1,6%, Kunde 45: 1,0%) größer als bei QG2 (Kunde

15: 1,0%, Kunde 45: 0,8%) und dieser Wert ist wiederum größer als bei QG3 (Kunde 15: 0,5%, Kunde 45: 0,3%). Aus der Untersuchung resultiert beispielsweise für den Kunden 21, dass der Referenzprozess nicht eingehalten ist. Kunde 21 war mit 1,3% bei QG1 vertreten, wobei dieser Wert geringer ist als 4,2% bei QG2, welcher wiederum geringer ist als 4,4% bei QG3. Abweichungen des IST-Prozesses vom Referenzprozess sind auch am Beispiel des Kunden 13 und des Kunden 24 festzustellen. Dabei weist die Teilnahme bei QG1 (Kunde 13: 0,8%, Kunde 24: 1,3%) einen größeren Wert als bei QG2 (Kunde 13: 0,5%, Kunde 24: 0,8%) auf, welcher jedoch geringer ist als der Wert bei QG3 (Kunde 13: 2,1%, Kunde 24: 1,6%). Weiterhin wird am Beispiel des Kunden 31 deutlich, dass bei QG1 (1,0%) die Variantenanfragen abgelehnt wurden, da die Teilnahme bei QG2 bei 0% und bei QG3 bei 0% liegt.

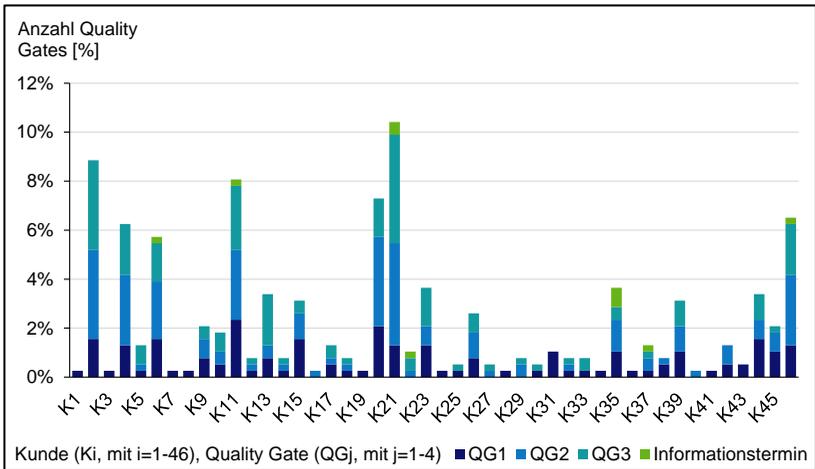


Abbildung 4.6: Durchgeführte Quality Gates pro Kunde

Die Datensätze wurden auch hinsichtlich der Anzahl der durchgeführten Quality Gates pro Jahr analysiert (Abbildung 4.7). Pro Jahr (Zeitraum: 2012-2016) wurden durchschnittlich 29,9% QG1, 36,5% QG2, 30,7% QG3 und 2,9% Informationstermine durchgeführt. Ein stabiler Referenzprozess ist dadurch gekennzeichnet, dass die Anzahl eines durchgeführten QGs geringer ist als die Anzahl des in der Angebotsphase vorangehenden QGs. Beispielsweise liegt das vor, wenn die Anzahl an durchgeführten QG3 geringer ist als die durchgeführten QG2. Dies beruht darauf,

dass in QG2 Varianten abgelehnt und deshalb nicht mehr bei QG3 vorgestellt werden können.

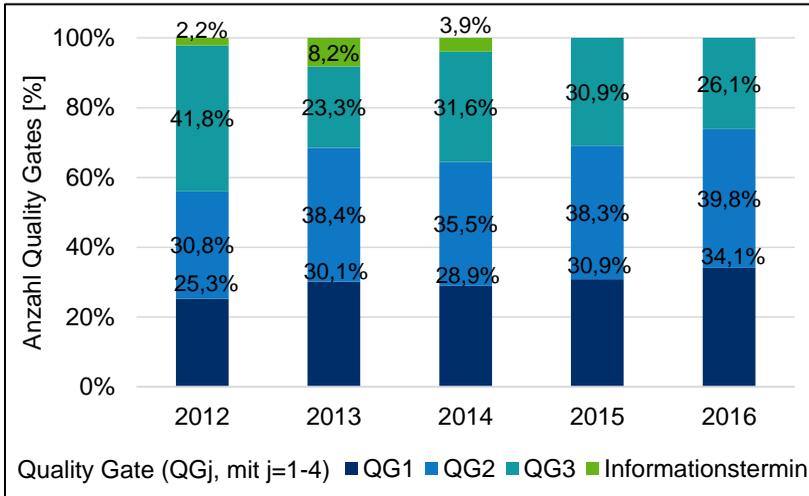


Abbildung 4.7: Durchgeführte Quality Gates pro Jahr

Bei Betrachtung der einzelnen Jahre ist eine zunehmende Annäherung des IST-Prozesses an den Referenzprozess erkennbar:

- 2012 ist der Wert für QG3 (41,8%) größer als der Wert für QG2 (30,8%).
- 2013 ist der Wert für QG3 (23,3%) geringer als der Wert für QG2 (38,4%).
- 2014 ist der Wert für QG3 (31,6%) geringer als der Wert für QG2 (35,5%).
- 2015 ist der Wert für QG3 (30,9%) geringer als der Wert für QG2 (38,3%).
- 2016 ist der Wert für QG3 (26,1%) geringer als der Wert für QG2 (39,8%).

Für alle Jahre liegt der Wert für QG2 über dem Wert für QG1. Dies ist der Tatsache geschuldet, dass QG1 im Referenzprozess nicht verpflichtend durchzuführen ist.

Im Rahmen der Inhaltsanalyse wurden ebenfalls die dokumentierten Termine für QG1, QG2 und QG3 untersucht. Für jede Variantenanfrage ist die Dauer von der

ersten Vorstellung bei einem QG bis zur Freigabe oder Ablehnung durch das Management des Produktbereichs berechnet. In Abbildung 4.8 ist die Dauer in Wochen zur Bearbeitung jeder Variantenanfrage (Zeitraum: 2012-2016) in Abhängigkeit des Zeitpunkts der erstmaligen Vorstellung dargestellt.

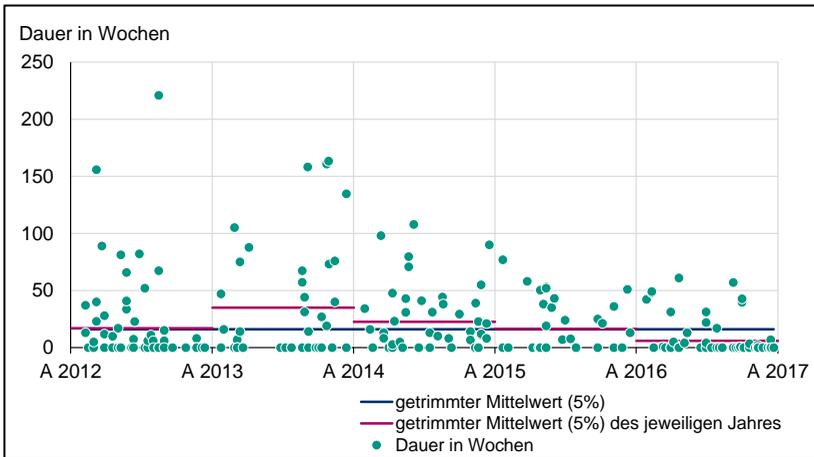


Abbildung 4.8: Dauer zur Bearbeitung von Variantenanfragen in der Angebotsphase der CP4

Die Datensätze beinhalten vor allem für das Jahr 2012 auch negative und somit implausible Daten, die auf eine fehlerhafte manuelle Eingabe der Daten zurückzuführen sind. Diese sind in der Abbildung nicht aufgeführt. Sofern Anfragen direkt bei deren ersten Vorstellung abgelehnt wurden, sind die Variantenanfragen mit einer Dauer von null Wochen aufgeführt. Vor allem in den Jahren 2012 und 2013 sind Ausreißer erkennbar, wobei die Anzahl an Ausreißern über den Zeitraum abnimmt. Aufgrund dessen ist der α -getrimmte Mittelwert mit $\alpha=5$ (Polasek, 1994, S. 163–185) sowohl für den gesamten Zeitraum, als auch für die einzelnen Jahre berechnet. Dieser liegt für den gesamten Zeitraum bei 19 Wochen, für 2012 bei 17 Wochen, für 2013 bei 35 Wochen, für 2014 bei 22 Wochen, für 2015 bei 16 Wochen und für 2016 bei 6 Wochen. Folglich ist von 2013 bis 2016 eine Reduktion der Dauern für die Angebotsphase zu verzeichnen.

4.1.3 Bewertungsmethoden in der Angebotsphase

In teilstandardisierten Interviews (n=24) wurden die Bewertungsmethoden¹¹² für die Aktivitäten des Referenzprozesses der Angebotsphase der CP4 diskutiert. Experte20 und Experte21 aus der Entwicklung haben den Produktkonfigurator zur initialen Bewertung von Produktprofilen angefragter Varianten erklärt. Das Konfigurieren erfolgt unter definierten Produktstrukturregeln, die die Kombinationsmöglichkeiten im Rahmen des modularen Baukastens der CP4 abbilden¹¹³. Sofern eine Variante konfiguriert werden kann, ist die Variante in der Serienfertigung implementiert. Für die Varianten, die in der Serienfertigung implementiert sind, existieren verschiedene Methoden für einen systematischen Umgang in der Angebotsphase. Experte46 aus dem Produktmanagement hat beispielhaft die Anwendung der Portfolioanalyse sowie die Darstellung von Baugruppen und Bauteilen mit Hilfe eines Variantenbaums beschrieben. Im Rahmen der ökonomischen Bewertung in der Angebotsphase ist laut Experte59 aus dem Controlling eine Kostenkalkulation zu erstellen. Die Kostenkalkulation (inklusive Varianzkosten) erfolgt auf Basis von unternehmensinternen Kalkulationsmethoden, auf die im Rahmen dieser Arbeit nicht weiter eingegangen ist. Experte33 aus dem Änderungswesen der Fertigung hat die Klassifizierung von Varianten in Neuheitsgrade erläutert. Ein Neuheitsgrad spiegelt den zeitlichen Aufwand zur Erstellung einer Kostenkalkulation für die angefragte Variante wider, die von dem geschätzten Neuentwicklungsanteil und der Komplexität bei der Herstellung abhängt. Noch nicht in der Serienfertigung implementierte, aber im Produktportfolio eingeplante Varianten, die einen geringen bzw. mittleren Zeitaufwand zur Kostenkalkulation vorsehen, entsprechen einem unternehmensspezifischen Neuheitsgrad 1 bzw. 2. In der Serienfertigung nicht implementierte und im Produktportfolio nicht eingeplante Varianten werden abhängig von deren geschätztem Zeitaufwand zur Kostenkalkulation unterschieden zwischen einem Neuheitsgrad 3 und einem Neuheitsgrad 4. Für die Neuheitsgrade 1, 2 und 3 sind einzuhaltende Dauern zur Kostenkalkulation definiert, wobei Neuheitsgrad 1 durch die geringste Dauer, Neuheitsgrad 2 durch eine mittlere Dauer und Neuheitsgrad 3 durch die höchste Dauer gekennzeichnet sind. Neuheitsgrad 4 steht für einen sehr großen Neuentwicklungsanteil und eine hohe prognostizierte Komplexität bei der Herstellung, weswegen die Dauer zur Kostenkalkulation laut des Experten33 nicht festgelegt ist. Beispielhaft sind für das Jahr 2017 Datensätze der einzelnen Monate (n=12) untersucht, in denen die Varianten mit deren Neuheitsgrad und deren Zeitpunkt der Anfrage für eine Kostenkalkulation gelistet sind. Abbildung 4.9 zeigt die Verteilung der Kostenanfragen unterteilt nach Neuheitsgraden und nach

¹¹² vgl. Kap. 2.3.3: Methoden zur Bewertung in der Literatur

¹¹³ vgl. Kap. 3.3.2

Monaten im Jahr 2017. Die relativen Werte sind das Verhältnis der Häufigkeiten für das betrachtete Jahr zur Gesamtmenge der Kostenkalkulationen. Vor allem in den Monaten Januar, Juli, September und November wurden die meisten Kostenkalkulationen angefragt. Auffällig ist, dass Varianten mit einem Neuheitsgrad 1 in jedem Monat den geringsten Anteil und mit einem Neuheitsgrad 3 den größten Anteil aufweisen. Über das gesamte Jahr sind im Durchschnitt 10,6% der Varianten mit Neuheitsgrad 1, 14,6% mit Neuheitsgrad 4, 16,4% mit Neuheitsgrad 2 und 56,4% mit Neuheitsgrad 3 aufgelistet.

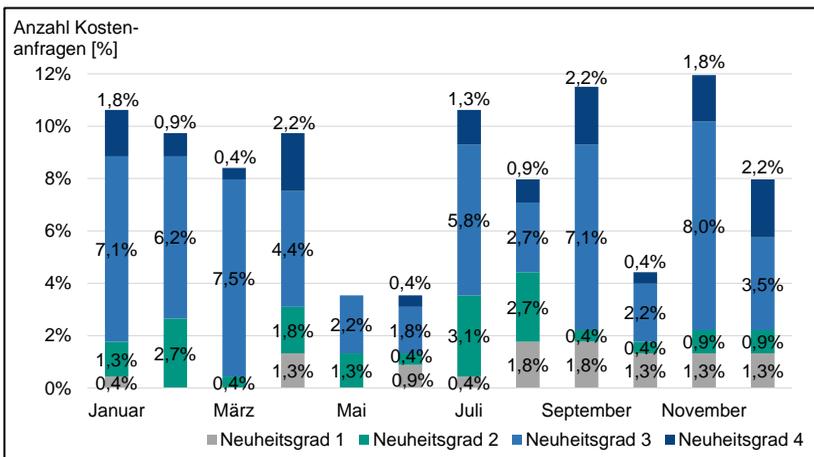


Abbildung 4.9: Neuheitsgrade der CP4-Varianten im Jahr 2017

4.1.4 Erkenntnisse zur Variantevielfalt in der Angebotsphase der CP4

Im Folgenden sind die Erkenntnisse zur Variantevielfalt in der Angebotsphase der CP4 aufgelistet und mit Ergebnissen aus den durchgeführten Untersuchungen beschrieben.

Die Variantenanzahl hat auf Pumpen-, Baugruppen- und Bauteilebene über die Zeit zugenommen.

Aus der Untersuchung der Variantenanzahl resultiert, dass auf Pumpen-, Baugruppen- und Bauteilebene im Jahr 2016 die Anzahl im Vergleich zum Jahr 2010 gestiegen ist. Der größte Anstieg ist auf Baugruppenebene zu verzeichnen. Das verdeutlicht, dass die Variantenvielfalt sich weniger auf Erzeugnis-, sondern mehr auf Baugruppenebene zeigt.

Eine umfassende Bewertung von Varianten vor der ökonomischen Bewertung in der Angebotsphase unterstützt hinsichtlich eines systematischen Umgangs mit Variantenvielfalt.

Nach der initialen Bewertung des Zielsystems einer Variante erfolgt die ökonomische Bewertung mit Hilfe unternehmensinternen Kalkulationsmethoden. Experten befürworten die Einführung einer umfassenden Bewertung des Zielsystems von Varianten vor der ökonomischen Bewertung, mit welcher die Auswirkungen auf betroffene Technologien systematisch bestimmt werden. Involvierte Fachbereiche sollen dadurch frühzeitig und zielgerichtet in die Angebotsphase eingebunden werden.

Insbesondere Varianten, die nicht in der Serienfertigung implementiert sind, sind von großer Bedeutung.

Varianten, die in der Serienfertigung nicht implementiert sind, werden – abhängig von dem geschätzten Neuentwicklungsanteil und von der Komplexität bei der Herstellung – in vier Neuheitsgrade kategorisiert. Aus der Untersuchung geht hervor, dass der größte Anteil der Variantenanfragen Varianten mit einem hohen Neuentwicklungsanteil und einer hohen Komplexität bei der Herstellung sind.

Der Prozess der Angebotsphase von Varianten soll standardisiert und zugleich flexibel handhabbar sein.

Von den befragten Experten wird gefordert, dass der Prozess der Angebotsphase abhängig von den kundenspezifischen Anforderungen variantenindividuell handhabbar sein soll. Aus der Untersuchung resultiert, dass die Quality Gates des Referenzprozesses über den betrachteten Zeitraum vermehrt eingehalten wurden. Demzufolge wird angenommen, dass ein einheitlicher und definierter Prozess in der Angebotsphase angestrebt wird.

Ein Fokus liegt auf der Reduktion der Dauer für die Angebotsphase.

Die Untersuchung der Variantenanfragen in der Angebotsphase zeigt, dass die Dauer für die Angebotsphase in dem betrachteten Zeitraum reduziert wurde. Folgend darauf ist angenommen, dass die Dauer nicht erhöht werden soll.

4.2 Umgang mit der Variantenvielfalt der CP4

Um den Umgang mit der Variantenvielfalt der CP4 zu analysieren, wurde eine Fragebogenstudie mit sieben Themenblöcke (Anhang) implementiert. Das Vorgehen zur Untersuchung des Umgangs mit Variantenvielfalt ist in Abbildung 4.10 dargestellt. Die Unterkapitel beinhalten die Beschreibungen der Aktivitäten der Analyse und der Synthese, die bei der Untersuchung vorgenommen wurden. Entsprechend sind die Aktivitäten in der Spalte Analyse oder in der Spalte Synthese aufgeführt. Zu den Analyseaktivitäten zählen die Auswertungen der Themenblöcke. Das Unterkapitel mit den Erkenntnissen ist grün hervorgehoben. Die Erkenntnisse resultieren aus der Interpretation der Ergebnisse aus der Untersuchung des Umgangs mit der Variantenvielfalt der CP4 (Synthese) (Kapitel 4.2.4).

Der Fragebogen wurde auf Basis des Forschungsbedarfs und der Erkenntnisse aus der Untersuchung der Variantenvielfalt in der Angebotsphase erarbeitet¹¹⁴. Die sieben Themenblöcke umfassen Fragen, die mit *Ziffer.Buchstabe* gekennzeichnet sind. *Ziffer* steht für die numerische Reihenfolge der Themenblöcke und *Buchstabe* für die alphabetische Reihenfolge der Fragen. Der erste Themenblock beinhaltet die Frage nach dem zugeordneten Fachbereich der Teilnehmer, das die Abfrage nach der unabhängigen Variable¹¹⁵ der Fragebogenstudie darstellt. Die abhängigen Variablen wurden in den Themenblöcken zwei bis sieben mit unterschiedlichen Skalenarten (z.B. Ordinalskala, Nominalskala, Freitextfeld) abgefragt. Mit der Fragebogenstudie wurden zum einen die Ursachen und die Auswirkungen von Variantenvielfalt (Themenblock 2 und 3) (Kapitel 4.2.1) und zum anderen die Herausforderungen im Umgang mit Variantenvielfalt (Themenblock 4, 5 und 6) (Kapitel 4.2.2) untersucht. Zudem wurden Vorschläge der Teilnehmer für den Umgang mit Variantenvielfalt identifiziert (Themenblock 7) (Kapitel 4.2.3).

¹¹⁴ vgl. Kap. 3.1.1 und Kap. 4.1.4

¹¹⁵ Erklärungen zur Abgrenzung von abhängigen und unabhängigen Variablen sowie zu den unterschiedlichen Skalenarten kann in weiterführender Literatur nachgelesen werden. Zum Beispiel: Bortz und Döring (2006, 7, 67)

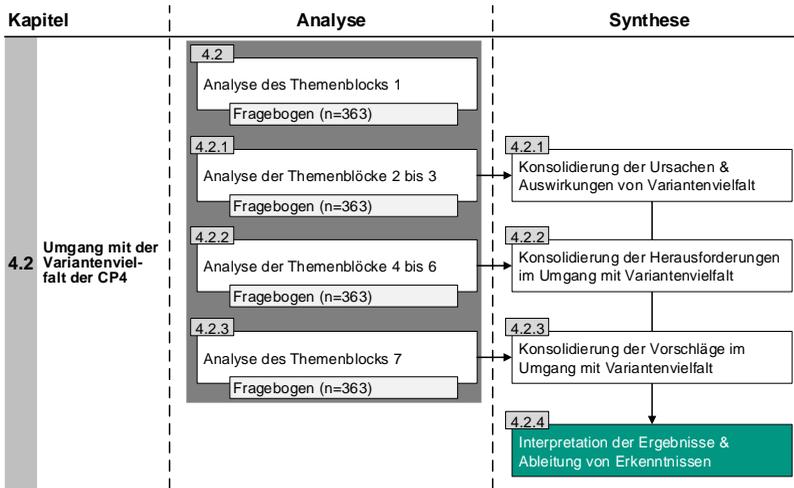


Abbildung 4.10: Vorgehen zur Untersuchung des Umgangs mit der Variantenvielfalt der CP4

Im Dezember 2016 haben in Summe 638 Experten verschiedener Fachbereiche und Hierarchieebenen den Fragebogen empfangen, die von der Variantenvielfalt der CP4 betroffen sind. Insgesamt haben n=363 Experten anonym teilgenommen (Teilnehmerquote: 56,9%). Die Auswertung des ersten Themenblocks ist in Abbildung 4.11 aufgezeigt.

Zur Unterscheidung der Hierarchieebenen haben die Teilnehmer angegeben, ob die Antwortoption *Bereichsleiter & höher* zutrifft (1.a). Sofern diese nicht zutrifft, hat jeder Teilnehmer den Fachbereich ausgewählt, zu welchem dieser zugeordnet ist (1.b). Zu erkennen ist, dass die größten Anteile der Produktentwicklung (26,2%) und der Fertigung (23,1%) zuzuschreiben sind.

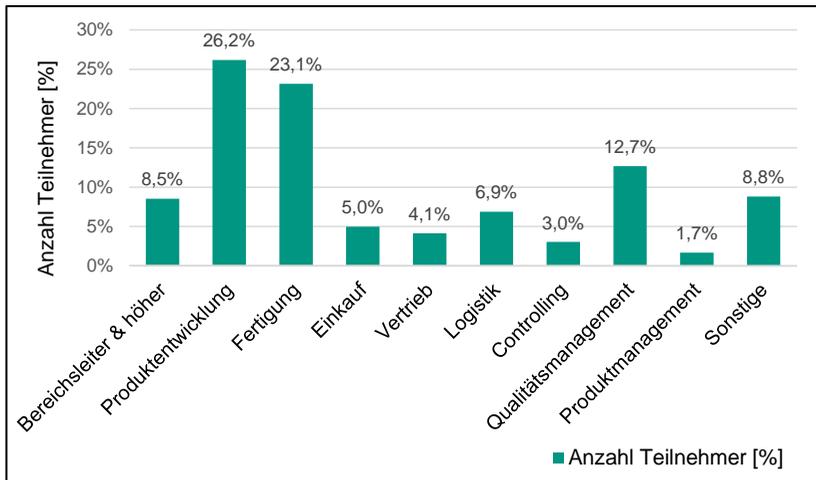


Abbildung 4.11: Teilnehmer der Fragebogenstudie (n=363)

4.2.1 Ursachen und Auswirkungen von Variantenvielfalt

Der zweite Themenblock der Fragebogenstudie (Anhang) diente der Untersuchung der Ursachen (2.a) für Variantenvielfalt. Die Teilnehmer konnten mehrere vorab definierte Antwortoptionen auswählen, die auf Basis der verursachungsgerechten Klassifizierung in der Literatur¹¹⁶ bestimmt sind. In Abbildung 4.12 ist die Verteilung der Angaben aller Teilnehmer (Gesamt) (Peglow et al., 2017), der Teilnehmer aus der Entwicklung und der Teilnehmer aus der Fertigung dargestellt. Die Antwortoption *Kundenanforderungen* steht für die kundeninduzierte Varianten, die Antwortoption *Marktanforderungen* für marktinduzierte Varianten und die Antwortoption *Kostenanforderungen* für kosteninduzierte Varianten. Für die Antwortoptionen *Qualitätsanforderungen an das Produktdesign* und *Qualitätsanforderungen an die Fertigungsprozesse* gibt es in der Literatur keine geeignete Klassifizierung und wurde aufgrund eigener Beobachtungen bestimmt. Die Antwortoptionen repräsentieren

¹¹⁶ vgl. Kap. 2.2.2.2

tieren Varianten, die aufgrund unternehmensinterner Qualitätsziele eingeführt werden. Qualitätsziele können beispielsweise die Produkthaftung und die Produktsicherheit betreffen, die mit Hilfe des Produktdesigns oder der Fertigungsprozesse zu erfüllen sind. Die Teilnehmer haben die Antwortoption *Sonstige* ausgewählt, wenn aus Sicht des Teilnehmers weitere Ursachen für die Variantenvielfalt verantwortlich sind (Gesamt: 8,0%, Entwicklung: 5,3%, Fertigung: 17,9%). Aus der Betrachtung der gesamten Stichprobe geht hervor, dass vor allem Kunden- (89,53%) und Marktanforderungen (56,20%) eine hohe Variantenanzahl implizieren. Im Vergleich dazu sind die Kundenanforderungen seitens der Mitarbeiter aus der Entwicklung (87,4%) als weniger wichtig und seitens der Mitarbeiter aus der Fertigung (97,6%) als wichtiger erachtet. Die Marktanforderungen sind im Vergleich zur gesamten Stichprobe von den Mitarbeitern der Entwicklung (57,9%) als relevanter eingestuft und von den Mitarbeitern der Fertigung (48,8%) als weniger relevant.

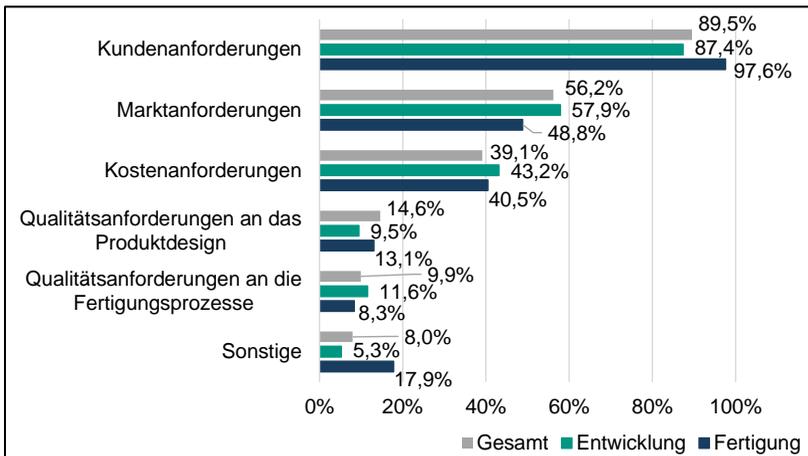


Abbildung 4.12: Ursachen für Variantenvielfalt der CP4 (Peglow et al., 2017)

Mit dem dritten Themenblock (Anhang) wurde untersucht, in welcher Form die Komplexität im Umgang mit Variantenvielfalt der CP4 (3.a) sichtbar ist. Ziel der Frage

war es, die Auswirkungen von Variantenvielfalt aufzuzeigen¹¹⁷. In einem Freitextfeld konnten die Teilnehmer optional Angaben angeben. Insgesamt haben 112 von 363 Teilnehmern die Frage beantwortet (relative Beteiligung: 30,9%). Basierend auf den Angaben wurden elf Antwortoptionen abgeleitet. Die Angaben der Teilnehmer sind jeweils einer oder mehreren Antwortoptionen zugeordnet. In Abbildung 4.13 ist die Verteilung der Angaben auf die elf Antwortoptionen visualisiert (Albers, Peglow et al., 2018).

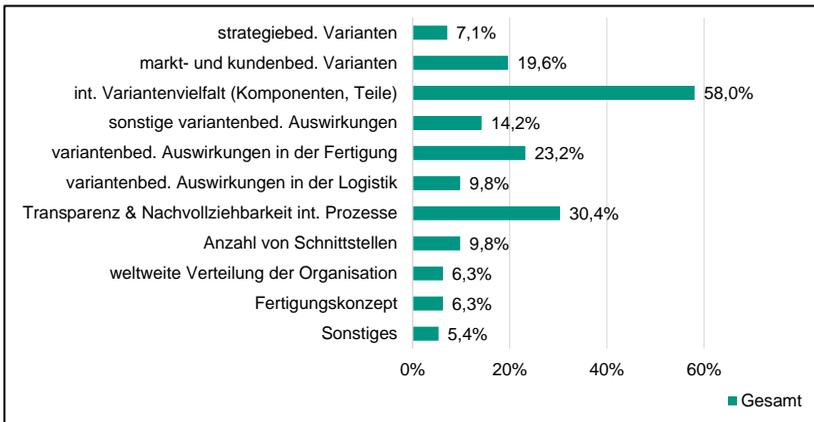


Abbildung 4.13: Formen von Komplexität im Umgang mit Variantenvielfalt der CP4 (Albers, Peglow et al., 2018)

Insbesondere zeigt sich die Komplexität im Umgang mit Variantenvielfalt der CP4 in der internen Variantenvielfalt (58,0%) hinsichtlich der Anzahl an Komponenten und an Bauteilen sowie in dem daraus resultierenden internen administrativen Aufwand. Die Transparenz und die Nachvollziehbarkeit von internen Prozessen, die die Verantwortlichkeiten und die Entscheidungsgrundlage inkludieren, sind mit einer relativen Häufigkeit von 30,4% genannt. Variantenbedingte Auswirkungen auf die Fertigung (23,2%) (z.B. neue Maschinen, Anlagen und Prüfeinrichtungen), auf die Logistik (9,8%) (z.B. geänderte Mindestbestände, Verpackungsequipment) und auf

¹¹⁷ vgl. Kap. 2.2.2.3: Erläuterungen zu den in der Literatur identifizierten Auswirkungen von Variantenvielfalt und der resultierenden Komplexität durch Variantenvielfalt

weitere, nicht spezifizierte Bereiche (14,2%) (z.B. Dokumentenanzahl) sind zusätzlich als Formen der Komplexität beschrieben. Strategiebedingte Varianten (7,1%), markt- und kundenbedingte Varianten (19,6%), die Anzahl von organisatorischen Schnittstellen unter anderem zu verschiedenen Entscheidungsgremien (9,8%), die weltweite Verteilung der Organisation hinsichtlich der Fertigungswerke, der Entwicklerteams oder der Lenkungsausschüsse (6,3%) und das einheitliche sowie zugleich flexibel anpassbare Fertigungskonzept (6,3%) kennzeichnen darüber hinaus eine komplexe Entwicklungsumgebung.

4.2.2 Herausforderungen im Umgang mit Variantenvielfalt

Der vierte Themenblock (Anhang) umfasst die Abfrage nach den Herausforderungen bei der Entscheidung über die Einführung einer neuen CP4-Variante (4.a). Auf Basis eigener Beobachtungen und dem identifizierten Forschungsbedarf¹¹⁸ wurden die Antwortoptionen definiert. Die Teilnehmer konnten mehrere Antwortoptionen auswählen. In Abbildung 4.14 ist die Verteilung der Angaben aller Teilnehmer (Gesamt), die Verteilung der Angaben der Teilnehmer aus der Entwicklung und der Teilnehmer aus der Fertigung abgebildet (Peglow et al., 2019). Alle Teilnehmer (41,6%) und die Teilnehmer aus der Entwicklung (49,5%) erachten die wirtschaftliche Situation als Hauptherausforderung. Im Gegensatz dazu dominiert seitens der Fertigung die Antwortoption zur intransparenten und nicht durchgängigen Kommunikation (50,0%) sowie die große Anzahl an Mitarbeitern und die internationale Verteilung (42,9%). Die Teilnehmer erachten es als herausfordernd, dass es keine einheitliche Bewertungsmethode für neue CP4-Varianten (Gesamt: 29,8%, Entwicklung: 30,5%, Fertigung: 40,5%) gibt und dass der Bewertungsprozess nicht eindeutig definiert sei (Gesamt: 22,9%, Entwicklung: 20,0%, Fertigung: 22,9%).

¹¹⁸ vgl. Kap. 3.1.1



Abbildung 4.14: Herausforderungen bei der Entscheidung über neue Varianten (Peglow et al., 2019)

Zur Spezifizierung der Herausforderungen unterstützt der fünfte Themenblock (Anhang). Untersucht wurde der Unterschied zwischen der aktuellen Berücksichtigung von Fachwissen (5.a) und der gewünschten Berücksichtigung von Fachwissen (5.b) bei der Entscheidung über die Einführung einer neuen Variante (Abbildung 4.15). Die aktuelle Berücksichtigung von Fachwissen (5.a) beruht auf der Fragestellung, ob die Mitarbeiter der Meinung sind, dass das Fachwissen aus deren Fachbereich bei der Entscheidung berücksichtigt wird. Die gewünschte Berücksichtigung von Fachwissen (5.b) spiegelt die Fragestellung wider, ob die Mitarbeiter es für zweckmäßig erachten, dass das Fachwissen aus deren Fachbereich bei der Entscheidung mehr berücksichtigt werden sollte. Beide Fragen haben die Teilnehmer entweder auf der Likert-Skala (Likert, 1932) (trifft völlig zu, trifft zu, teils/teils, trifft nicht zu, trifft gar nicht zu) oder mit der Antwortoption *keine Angabe* beantwortet. Bei Betrachtung des aktuell berücksichtigten Fachwissens ist zu erkennen, dass die Teilnehmer überwiegend die Antwortoptionen *teil/teils* (25,3%) und *trifft gar nicht zu* (24,2%) angekreuzt haben. Daraus resultiert ein Median zwischen den Antwortoptionen *teils/teils* und *trifft nicht zu*. Bei Betrachtung des gewünschten berücksichtigten Fachwissens finden die Teilnehmer, dass das Fachwissen aus deren Fachbereichen mehr mit einbezogen werden sollte. Der Median liegt zwischen den Antwortoptionen *trifft zu* (28,4%) und *teils/teils* (25,3%).

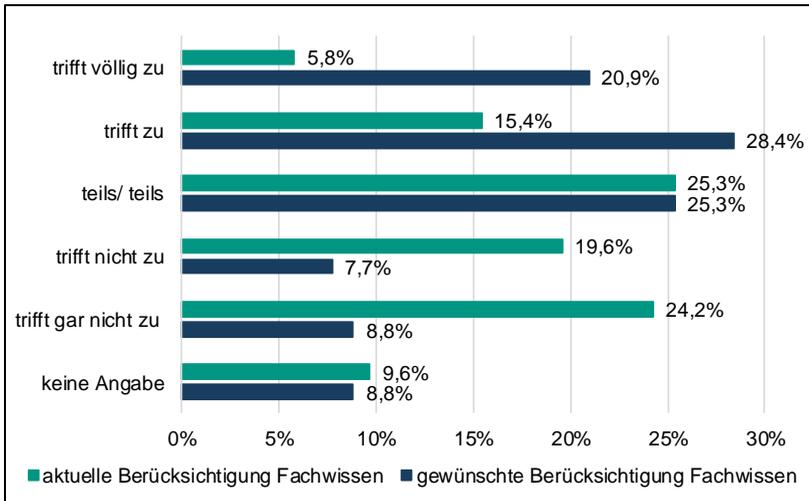


Abbildung 4.15: Berücksichtigung von Fachwissen bei der Entscheidung über die Einführung von Varianten

Der sechste Themenblock (Anhang) dient der Beurteilung der Transparenz im Bewertungsprozess (6.a) und der Bewertungsmethode (6.b). Die Teilnehmer haben die Fragen auf der Likert-Skala (Likert, 1932) (trifft völlig zu, trifft zu, teils/teils, trifft nicht zu, trifft gar nicht zu) oder mit der Antwortoption *keine Angabe* beantwortet. Hinsichtlich der Transparenz des Bewertungsprozesses (6.a) ist die Verteilung der Angaben aller Teilnehmer (Gesamt), der Teilnehmer aus der Entwicklung und der Teilnehmer aus der Fertigung auf die Antwortoptionen in Abbildung 4.16 dargestellt. Die Antwortoption *trifft völlig zu* bedeutet, dass der Bewertungsprozess transparent ist. Die Antwortoption *trifft gar nicht zu* bedeutet, dass der Bewertungsprozess intransparent ist. Alle Teilnehmer zusammen haben überwiegend die Antwortoptionen *trifft nicht zu* (33,1%) und *teils/teils* (27,5%) gewählt. Der Median liegt zwischen beiden Antwortoptionen. Aus den Angaben der Teilnehmer aus der Entwicklung resultiert eine ähnliche Verteilung, wobei die Antwortoptionen *teils/teils* mit 40,0% und *trifft nicht zu* mit 27,4% bewertet ist. Der Median ist somit die Antwortoption *teils/teils*. Im Gegensatz dazu haben 47,6% der Teilnehmer aus der Fertigung die Transparenz mit der Antwortoption *trifft nicht zu* eingestuft, das den Median repräsentiert.

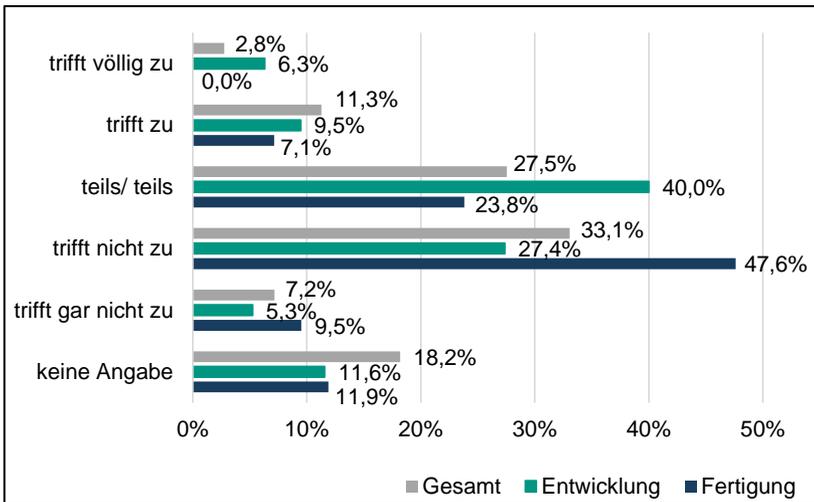


Abbildung 4.16: Transparenz des Bewertungsprozesses in der Angebotsphase der CP4

Hinsichtlich der Transparenz der Bewertungsmethode (6.b) ist die Verteilung der Angaben aller Teilnehmer (Gesamt), der Teilnehmer aus der Entwicklung und der Teilnehmer aus der Fertigung auf die Antwortoptionen in Abbildung 4.17 dargestellt. Die Antwortoption *trifft völlig zu* steht in diesem Fall für eine transparente und die Antwortoption *trifft gar nicht zu* für eine intransparente Bewertungsmethode. Der Großteil aller Teilnehmer zusammen (Gesamt) haben die Frage mit den Antwortoptionen *trifft nicht zu* (30,9%) sowie *teils/teils* (29,5%) beantwortet. Der Median liegt zwischen diesen beiden Antwortoptionen. Seitens der Entwicklung ist der Median bei der Antwortoption *teils/teils*, da diese Antwortoption eine relative Häufigkeit von 42,1% aufweist. Der Median seitens der Fertigung ist bei der Antwortoption *trifft nicht zu* mit einer relativen Häufigkeit von 44,0%.

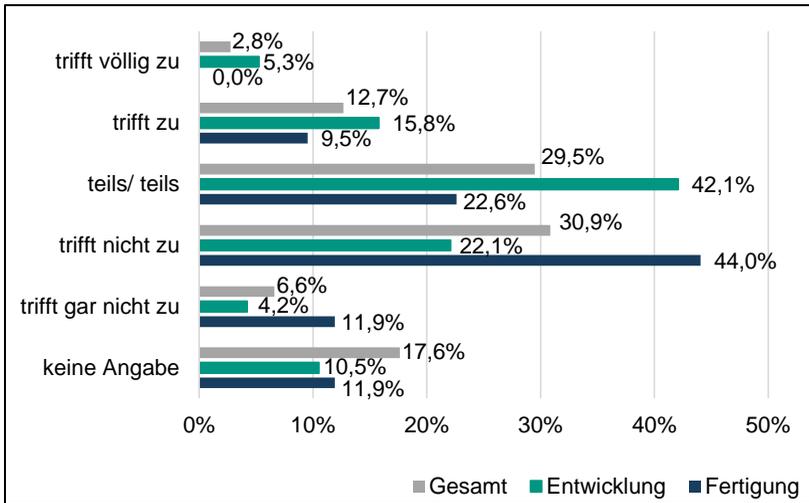


Abbildung 4.17: Transparenz der Bewertungsmethode in der Angebotsphase der CP4

4.2.3 Vorschläge im Umgang mit Variantenvielfalt

Der siebte Themenblock (Anhang) besteht aus einer optionalen Frage zur Identifikation von Vorschlägen für einen zweckmäßigen Umgang mit Variantenvielfalt der CP4 (7.a). Die Teilnehmer konnten mit Hilfe eines Freitextfelds die Frage beantworten. Basierend auf den Angaben sind sechs Antwortoptionen definiert. Die Angaben der Teilnehmer wurden einer oder mehreren Antwortoptionen zugeordnet (Abbildung 4.18). Insgesamt haben 27 von 363 Teilnehmern Angaben gemacht (relative Beteiligung: 7,4%). 37,0% der Teilnehmer erachten eine Optimierung der Entscheidungswege und -gremien als sinnvoll und 29,6% eine Erhöhung der Transparenz in der Anforderungsdefinition. Ergänzende Vorschläge sind die Standardisierung von Prozessen (22,2%) und die Realisierung einer IT-basierten Bewertung (22,2%).

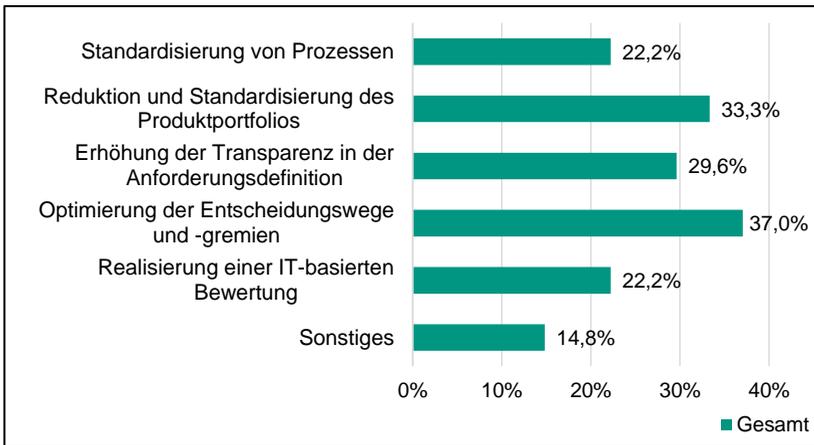


Abbildung 4.18: Vorschläge im Umgang mit Variantenvielfalt der CP4

4.2.4 Erkenntnisse zum Umgang mit der Variantenvielfalt der CP4

Im Folgenden sind die Erkenntnisse aus der Auswertung der Fragebogenstudie aufgelistet und mit Ergebnissen aus den Auswertungen beschrieben.

Es besteht großes Interesse an dem Umgang mit Variantenvielfalt.

Die hohe Teilnehmerquote der Fragebogenstudie (56,9%) zeigt, dass Bedarf im Umgang mit der Variantenvielfalt der CP4 existiert.

Kundenindividuelle Sonderlösungen sind die Hauptursachen für Variantenvielfalt.

Kundenanforderungen sind die am häufigsten genannten Ursachen für Variantenvielfalt. Dies bestätigt den in der Literatur beschriebenen charakterisierenden Aspekt des Variantenbegriffs¹¹⁹.

Die Komplexität im Umgang mit Variantenvielfalt zeigt sich insbesondere in variantenbedingten Auswirkungen auf bestehende Technologien.

Die interne Variantenvielfalt und die variantenbedingten Auswirkungen beispielsweise in der Fertigung und in der Logistik sind als Formen der Komplexität identifiziert. Dies verdeutlicht die Erkenntnisse aus der Literatur, dass die Elemente des Referenzsystems einer Produktgeneration im Entwicklungsprozess zu berücksichtigen sind¹²⁰.

Die Herausforderungen bei der Entscheidung über die Einführung neuer Varianten liegen insbesondere im Rahmen des Handlungssystems der CP4.

Eine intransparente und nicht durchgängige Kommunikation sowie die große Anzahl an international verteilten Mitarbeitern sind als Herausforderungen bei der Entscheidung über die Einführung neuer Varianten bestimmt. Dies bestärkt die im iPeM beschriebene Durchgängigkeit des Ressourcensystems über verschiedene organisatorische Ebenen hinweg, um während des Entwicklungsprozesses einer CP4-Variante einen effizienten Wissensaustausch zu gewährleisten.

Bei der Einführung von Varianten in der Angebotsphase ist das relevante Wissen der Fachbereiche nicht ausreichend berücksichtigt.

Es ist identifiziert, dass der Wunsch nach einer stärkeren Berücksichtigung von Fachwissen aus den Fachbereichen bei der Einführung einer neuen Variante besteht. Darauf basierend ist der Bedarf an einer zielgerichteten Einbindung der Fachbereiche bei der Bewertung von Varianten abgeleitet, die der Entscheidung zur Einführung einer Variante vorausgeht.

Der intransparente Bewertungsprozess und die intransparente Bewertungsmethode erschweren den Umgang mit Varianten in der Angebotsphase.

Der Bewertungsprozess und die Bewertungsmethode in der Angebotsphase sind als intransparent eingestuft. Zudem werden intransparente Prozesse als verantwortlich für eine steigende Komplexität im Umgang mit Variantenvielfalt erachtet. Daraus

¹¹⁹ vgl. Kap. 2.2.2.1: Definition von Varianten

¹²⁰ vgl. Kap. 2.1.4

folgt die Annahme, dass durch einen intransparenten Prozess etwaige Auswirkungen auf die Elemente des Referenzsystems bei der Bewertung von Varianten unberücksichtigt bleiben können. Demnach können der Bewertungsprozess und die Methode zur Bewertung nicht unabhängig voneinander betrachtet werden.

Eine systematische Bewertung ist notwendig, um einen zielgerichteten Umgang mit Varianten in der Angebotsphase zu realisieren.

Als Vorschläge im Umgang mit Variantenvielfalt wurden die Standardisierung von Prozessen sowie die Realisierung einer IT-basierten Bewertung in der Angebotsphase genannt. Der Vorschlag bezüglich der Standardisierung bestätigt den in der Literatur identifizierten Bedarf an einer einheitlichen und definierten Bewertungssystematik (Bewertungsprozess und Methode zur Bewertung)¹²¹. Für einen systematischen und zielgerichteten Umgang mit Varianten in der Angebotsphase soll die Bewertungssystematik in toolgestützter Form anwendbar sein.

4.3 Bedarf im Umgang mit Variantenvielfalt in der Angebotsphase

In Abbildung 4.19 ist das Vorgehen zur Identifikation des Bedarfs im Umgang mit Variantenvielfalt für CP dargestellt. Es wurden Analyseaktivitäten und Syntheseaktivitäten durchgeführt, die in den Unterkapiteln beschrieben sind. Die Aktivitäten sind entsprechend in der Spalte Analyse oder in der Spalte Synthese aufgelistet. Bei den Analyseaktivitäten haben Experten mit Hilfe (teil-)standardisierter Interviews unterstützt. Die Syntheseaktivitäten sind die Konsolidierung und die Interpretation der Analyseergebnisse. In teilstandardisierten Interviews (n=4) mit Experte2, Experte3, Experte9 und Experte25¹²² wurden die Ergebnisse der Fragebogenstudie vorgestellt. Mit den Experten wurden die Herausforderungen und die Ziele für eine Bewertungssystematik diskutiert (Analyse), die anschließend konsolidiert wurden (Synthese) (Kapitel 4.3.1).

¹²¹ vgl. Kap. 3.1.1

¹²² vgl. Kap. 3.3.3: Involvierte Experten während des Forschungsprojekts

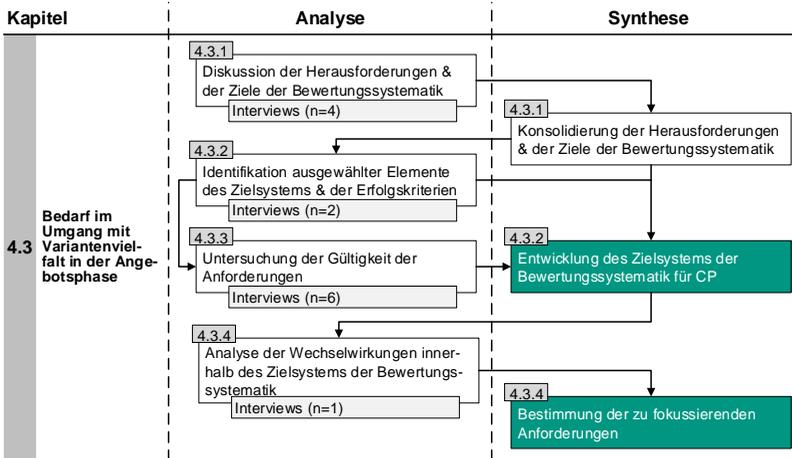


Abbildung 4.19: Vorgehen zur Identifikation des Bedarfs im Umgang mit Variantenvielfalt

Auf Basis der Ziele für die Bewertungssystematik wurde das initiale Zielsystem der Bewertungssystematik¹²³ zu dem Zielsystem der Bewertungssystematik für CP während des Forschungsprojekts teilweise iterativ weiterentwickelt¹²⁴ (Synthese). Im Zeitverlauf des Forschungsprojekts wurden mit Experten (n=2) (Experte2, Experte25) die Ziele, Anforderungen und Randbedingungen (ausgewählte Elemente des Zielsystems) wiederholt diskutiert und aktualisiert (Analyse) (Kapitel 4.3.2). Um zu zeigen, dass die Anforderungen, die vorwiegend mit Experten der CP4 identifiziert wurden, für CP gelten, wurden diese stellvertretend mit Experten der CP3 dahingehend untersucht (Analyse) (Kapitel 4.3.3). Die Auswahl der CP3-Experten (n=6) erfolgte unter Berücksichtigung der involvierten Fachbereiche bei der Anwendung der Bewertungssystematik. Involviert waren Experte12, Experte14, Experte25, Experte28, Experte41 und Experte48. Die Ergebnisse aus der Untersuchung der Gültigkeit gingen wiederum in das Zielsystem der Bewertungssystematik für CP ein.

¹²³ vgl. Kap. 3.1.1: Erläuterungen zu dem aus dem Stand der Forschung abgeleitete initiale Zielsystem der Bewertungssystematik

¹²⁴ vgl. Kap. 3.2: Hybride Vorgehensweise des Forschungsprojekts mit sequentiellen und iterativen Aktivitäten

Die Syntheseaktivität zu dem Zielsystem der Bewertungssystematik ist grün hervorgehoben, da das Zielsystem der Bewertungssystematik die Basis für die Phasen *Konzeption der Bewertungssystematik*, *Umsetzung der Bewertungssystematik als Tool* und *Validierung der Arbeit* sind. Die Einflüsse zwischen den Anforderungen und den Randbedingungen wurden mit Hilfe eines standardisierten Interviews (n=1) zur Modellierung der Wechselwirkungen innerhalb des Zielsystems der Bewertungssystematik bestimmt (Analyse) (Kapitel 4.3.4). Experte²⁵ hat aufgrund seiner fachbereichsübergreifenden Erfahrungen im Bereich des Variantenmanagements auf Managementebene unterstützt. Basierend auf Indikatoren der Einflussanalyse¹²⁵ wurden die Anforderungen identifiziert, die während den Phasen *Konzeption der Bewertungssystematik* und *Umsetzung der Bewertungssystematik als Tool* zu fokussieren sind (Synthese) (Kapitel 4.3.4). Diese Syntheseaktivität ist grün hervorgehoben.

4.3.1 Herausforderungen und Ziele der Bewertungssystematik

Mit Experten (n=4) wurden der Forschungsbedarf aus der Literatur und die Untersuchungsergebnisse zur Variantenvielfalt der CP4 diskutiert¹²⁶. Das Resultat der Diskussionen sind die in Tabelle 10 aufgelisteten Herausforderungen im Umgang mit Variantenvielfalt. ASD – Agile Systems Design ist ein geeigneter Ansatz zur Entwicklung von Entwicklungsmethoden für technische Systeme durch eine bedarfsgerechte Berücksichtigung relevanter Entwicklungsprinzipien in der Praxis. Zur Operationalisierung des Ansatzes sind die Herausforderungen den neun ASD-Prinzipien zugeordnet¹²⁷. (Peglow et al., 2019) Auf Basis der neun ASD-Prinzipien wurden neun Ziele für die Bewertungssystematik für CP mit Hilfe der Experten abgeleitet, wodurch das in der Literatur identifizierte Ziel der Arbeit für die Praxis stellvertretend in der Systemumgebung der CP4 spezifiziert ist (Peglow et al., 2019).

¹²⁵ vgl. Kap. 2.3.2.3: Erläuterungen zur Einflussanalyse

¹²⁶ vgl. Kap. 3.1.1, Kap. 4.1.4 und Kap. 4.2.4

¹²⁷ vgl. Kap. 2.1.2.3: Erläuterungen zum ASD – Agile Systems Design und den ASD-Prinzipien

Tabelle 10: Herausforderungen und Ziele für die Bewertungssystematik (Peglow et al., 2019)

Herausforderungen	ASD-Prinzipien	Ziele für die Bewertungssystematik
Auswirkungen von Varianten auf die gesamte Prozesskette eines Unternehmens	Alle Aktivitäten der Produktentwicklung sind als Problemlösungsprozess zu verstehen und zu modellieren	Eine Systematik zur Bewertung von Varianten in der Angebotsphase gemäß des Ziels der Arbeit modellieren (Ziel 1)
Intransparenz von internen Prozessen und nicht durchgängige Kommunikation	Der Mensch steht im Zentrum der Produktentstehung	Anwenderbedarf durch eine mensch-zentrierte Bewertungssystematik decken (Ziel 2)
Große Anzahl an Mitarbeitern und verwendeter Methoden sowie internationale Verteilung der Organisation	Jedes Prozesselement lässt sich dem ZHO-Modell zuordnen und jede Aktivität basiert auf den Grundoperatoren Analyse und Synthese	Ressourcen bei der Anwendung der Bewertungssystematik zielgerichtet einbinden unter Verwendung wiederkehrender Aktivitäten der Produktentstehung (Ziel 3)
Keine einheitliche Bewertung mit zugleich flexiblem Umgang mit Variantenanfragen	Agile, situations- und bedarfsgerechte Kombination strukturierender und flexibler Elemente	Bewertungssystematik unter Beachtung situationsspezifischer Problemstellungen standardisiert anwendbar machen (Ziel 4)
Angewandte und angewohnte Prozesse sowie individuelles Bereichsdenken	Jedes Produkt wird auf Basis von Referenzen durch Übernahme-, Gestalt- und Prinzipvariation entwickelt	Existierendes Produkt-, Prozess- und Methodenwissen bei der Entwicklung der Bewertungssystematik nutzen (Ziel 5)
Übertragbarkeit auf CP in der automobilen Zulieferindustrie	Für ein situations- und bedarfsgerechte Unterstützung in jedem Entwicklungsvorhaben müssen Denkweisen, Methoden und Prozesse skalierbar und fraktal sein	Bewertungssystematik weitestgehend produkt- und prozess-unabhängig anwendbar machen (Ziel 6)
Kosten- und Zeitdruck sowie Anforderungen an hohe Produktqualität	Produktprofile, Invention und die Markteinführung bilden die notwendigen Bestandteile des Innovationsprozesses	Nutzen durch Anwendung der Bewertungssystematik für das Unternehmen generieren (Ziel 7)
Dynamische Stakeholderanforderungen	Frühe und kontinuierliche Validierung aller im Prozess generierten Objekte sichert die Erfüllung des Kunden-, Anwender- und Anbieternutzens durch das Produkt	Iterative Weiterentwicklung der Bewertungssystematik bei Änderungen realisieren (Ziel 8)
Begrenzte Kapazität und etablierte Strukturen in der Forschungsumgebung	Jeder Produktentstehungsprozess ist einzigartig und individuell	Die Forschungsumgebung ist zu berücksichtigen (Ziel 9)

Die Herausforderung, dass Varianten Auswirkungen auf die gesamte Prozesskette eines Unternehmens haben können, ist dem ASD-Prinzip zum Verständnis und zur Modellierung aller Aktivitäten bei der Produktentstehung als Problemlösungsprozess zugeordnet. Dies beruht darauf, dass die Auswirkungen frühzeitig erkannt werden sollen und die dafür notwendigen Aktivitäten zur Vermeidung von potentiell resultierenden Problemen in der Wertschöpfungskette durchgeführt werden. Das abgeleitete Ziel ist demnach die Entwicklung der Bewertungssystematik für die Angebotsphase als spezifische Frühe Phase der Variantenentwicklung (Ziel 1). Die Herausforderung hinsichtlich der Intransparenz von internen Prozessen und der nicht durchgängigen Kommunikation ist dem ASD-Prinzip hinsichtlich einer menschenzentrierten Produktentstehung zugeordnet. Mit der zu entwickelnden menschenzentrierten Bewertungssystematik soll in diesem Zusammenhang der Anwenderbedarf unter anderem hinsichtlich der Transparenz des Bewertungsprozesses und der Bewertungsmethode gedeckt werden (Ziel 2). Die große Anzahl an Mitarbeitern und verwendeter Methoden sowie die weltweite Verteilung der Organisation stellen eine weitere Herausforderung dar. Die Mitarbeiter und die Methoden sind, entsprechend des ASD-Prinzips hinsichtlich der Zuordnung im ZHO-Modell, Elemente des Handlungssystems. Daraus resultiert das Ziel zur zielgerichteten Einbindung von Ressourcen durch wiederkehrende Aktivitäten der Produktentstehung bei der Anwendung der Bewertungssystematik (Ziel 3). Es existiert der Bedarf an einer einheitlichen und zugleich flexibel handhabbaren Bewertungssystematik für CP-Varianten. Die Herausforderung liegt dabei in der Bestimmung des optimalen Verhältnisses zwischen Standardisierung und Flexibilität, das dem ASD-Prinzip zur bedarfsgerechten Kombination von strukturgebenden und flexiblen Elementen zugeordnet ist. Das abgeleitete Ziel ist die Entwicklung der Bewertungssystematik, die eine ausreichend einheitliche Bewertung verschiedener CP-Varianten und gleichzeitig situationsspezifische Problemstellungen bei der Bewertung der Varianten erlaubt (Ziel 4). Angewöhnte und etablierte Prozesse und Methoden können die Entwicklung und die Anwendung der Bewertungssystematik erschweren. Diese Herausforderung ist dem ASD-Prinzip zur Nutzung des Referenzsystems durch ÜV, GV und PV zugeordnet. Die Entwicklung der Bewertungssystematik soll durch die Berücksichtigung von Wissen über CP, Prozesse und Methoden unterstützt werden (Ziel 5). Die Herausforderung zur Übertragbarkeit der Bewertungssystematik auf Systemumgebungen der CP in der automobilen Zulieferindustrie ist dem ASD-Prinzip zur Skalierbarkeit von Methoden und Prozessen zugeordnet. Demzufolge ist die Bewertungssystematik so zu entwickeln, sodass diese produkt- und prozessunabhängig ist (Ziel 6). Zur Zeit des Forschungsprojekts herrscht vor allem Kosten-, Zeit- und Qualitätsdruck. Diese Herausforderung ist dem ASD-Prinzip hinsichtlich des Innovationsprozesses zugeordnet. Damit geht das Ziel einher, dass die Bewertungssystematik in der Praxis ausschließlich Anwendung finden wird, wenn diese für das

Unternehmen einen Nutzen stiftet (Ziel 7). Während des Forschungsprojekts können sich die Anforderungen an die Bewertungssystematik durch die unterstützenden Entwicklerteams dynamisch verändern. Diese Herausforderung ist dem ASD-Prinzip zur kontinuierlichen Validierung zugeordnet. Das damit einhergehende Ziel ist die Gewährleistung einer iterativen Weiterentwicklung der Bewertungssystematik bei Änderungen (Ziel 8). Eine wesentliche Herausforderung ist die begrenzte Kapazität und die etablierten Strukturen in der Forschungsumgebung, wodurch das ASD-Prinzip hinsichtlich der Einzigartigkeit jedes Produktentstehungsprozesses repräsentiert ist. Die Entwicklung der Bewertungssystematik ist somit maßgeblich durch die individuelle Forschungsumgebung gekennzeichnet (Ziel 9).

4.3.2 Ziele, Anforderungen und Randbedingungen der Bewertungssystematik

Als Grundlage zur Entwicklung des Zielsystems der Bewertungssystematik für CP dienten das initiale Zielsystem der Bewertungssystematik und die neun Ziele für die Bewertungssystematik für CP¹²⁸. Abhängig von den Zielen wurden mit Experte2 und Experte25 die Anforderungen und die Randbedingungen bestimmt. Zur Vereinfachung sind die in Tabelle 11 dargestellten Ziele, Anforderungen und Randbedingungen in der vorliegenden Arbeit als das Zielsystem der Bewertungssystematik benannt. Die Wechselwirkungen innerhalb des Zielsystems der Bewertungssystematik sind in Kapitel 4.3.4 separat beschrieben. Die Randbedingungen verdeutlichen den Rahmen der Arbeit, der durch die Forschungsumgebung und die wirtschaftliche Situation der automobilen Zulieferindustrie gegeben ist. Die Anforderungen dienen der Überprüfung der Zielerreichung in der Phase *Validierung der Arbeit*.¹²⁹ Zur Übersichtlichkeit ist jede Anforderung und jede Randbedingung mit *Ziel-Nummer.Anforderung/Randbedingung-Nummer* gekennzeichnet. *Ziel-Nummer* bezeichnet die numerische Reihenfolge der Ziele und *Anforderung/Randbedingung-Nummer* die numerische Reihenfolge der aufgelisteten Anforderungen bzw. Randbedingungen für das jeweilige Ziel.

¹²⁸ vgl. Kap. 3.1.1 und Kap. 4.3.1: Ziele für die Bewertungssystematik

¹²⁹ vgl. Kap. 3.2.2 und Kap. 7: Validierung der Arbeit mit Hilfe der Anforderungen

Tabelle 11: Zielsystem der Bewertungssystematik

Ziele	Anforderungen
Ziel 1	1.1 Objektivierte und aggregierte Bewertung vor der ökonomischen Bewertung realisieren
Ziel 2	2.1 Eine ausreichend genaue Bewertung bei einer schnellen Anwendung sicherstellen
	2.2 Nachvollziehbarkeit der Bewertungsergebnisse erhöhen
	2.3 Transparenz während der Bewertung erhöhen
	2.4 Positives Anwendererlebnis bei der Anwendung der Bewertungssystematik als Tool realisieren
	2.5 Anwendbarkeit der Bewertungssystematik sicherstellen
	2.6 Akzeptanz der Bewertungssystematik sicherstellen
Ziel 3	3.1 Anzahl involvierter Fachbereiche zielgerichtet für die Bewertung erhöhen
Ziel 4	4.1 Einheitliche und definierte Bewertung realisieren
	4.2 Möglichkeit zur definierten bedarfsgerechten Anpassbarkeit der Bewertung realisieren
Ziel 5	5.1 Bestehendes Wissen über die CP während der Entwicklung der Bewertungssystematik berücksichtigen
	5.2 Bestehendes Wissen über Prozesse während der Entwicklung der Bewertungssystematik berücksichtigen
	5.3 Bestehendes Wissen über Methoden während der Entwicklung der Bewertungssystematik berücksichtigen
Ziel 6	6.1 Übertragbarkeit der Bewertungssystematik auf weitere CP berücksichtigen
	6.2 Übertragbarkeit der Bewertungssystematik auf weitere Phasen des Produktlebenszyklus berücksichtigen
Ziel 7	7.1 Einhaltung der Meilensteine in der Angebotsphase erhöhen
	7.2 Dauer der Angebotsphase nicht erhöhen
	7.3 Zielgerichteter Umgang mit Variantenvielfalt in der Angebotsphase realisieren
	7.4 Komplexität in der Angebotsphase reduzieren
	7.5 Entscheidungen im Bewertungsprozess der Angebotsphase formalisieren
	7.6 Wettbewerbsvorteil bei der Kundengewinnung in der Angebotsphase generieren

Ziele	Randbedingungen	
Ziel 8	8.1	Geringer Aufwand zur Umsetzung der Bewertungssystematik als Tool sicherstellen
	8.2	Geringer Pflegeaufwand zur Weiterentwicklung der Bewertungssystematik und des Tools berücksichtigen
	8.3	Nachhaltige Dokumentation der Bewertungen von Varianten in dem Tool realisieren
	8.4	Iterationen während der Entwicklung der Bewertungssystematik und der Umsetzung als Tool berücksichtigen
Ziel 9	9.1	Gestalt und Funktionen der CP4 und CP3 stellvertretend für CP berücksichtigen
	9.2	Aufbau- und Ablaufstruktur der Forschungsumgebung berücksichtigen
	9.3	Dauer des Forschungsprojekts berücksichtigen
	9.4	Budget zur Entwicklung der Bewertungssystematik und zur Umsetzung als Tool berücksichtigen
	9.5	Kapazität und Wissen involvierter Experten während des Forschungsprojekts berücksichtigen
	9.6	Verfügbarkeit und Qualität von Methoden und Prozessen berücksichtigen

Aufgrund der teilweisen iterativen Vorgehensweise des Forschungsprojekts sind Anforderungen und Randbedingungen aus unterschiedlichen Phasen der Arbeit (*Literaturrecherche*, *Potentialfindung für die Bewertungssystematik*, *Konzeption der Bewertungssystematik*, *Umsetzung der Bewertungssystematik als Tool*) aufgeführt¹³⁰. Beispielsweise gehen aus der Phase *Literaturrecherche* (Kapitel 2.4) und aus der Fragebogenstudie (Kapitel 4.2.4) im Rahmen der Phase *Potentialfindung für die Bewertungssystematik* hervor, dass die involvierten Fachbereiche bei der Bewertung hinsichtlich der betroffenen Elemente des Referenzsystems einer betrachteten Variante zielgerichtet eingebunden werden sollen (3.1). Zielgerichtet bedeutet in diesem Zusammenhang zum einen eine möglichst geringe Anzahl an Experten für einen effizienten Ressourcenbedarf zu erzielen und zum anderen ist die Anzahl so zu bestimmen, sodass eine fundierte Bewertung möglich ist. Ein weiteres Beispiel ist die Randbedingung in Bezug auf eine nachhaltige Dokumentation der Bewertungen von Varianten in dem Tool (8.3). Diese Anforderung resultiert aus der Untersuchung zur Gültigkeit der Anforderungen (Kapitel 4.3.3) im Rahmen der Phase *Potentialfindung für die Bewertungssystematik*.

¹³⁰ vgl. Kap. 3.2

4.3.3 Gültigkeit der Anforderungen für CP

Um zu prüfen, ob die mit Experten der CP4 identifizierten Anforderungen¹³¹ für CP Gültigkeit haben, wurden die Anforderungen mit Experten der CP3 diskutiert¹³². Die Randbedingungen sind für CP bei dem betrachteten automobilen Zulieferer allgemeingültig. In standardisierten Interviews (n=6) haben die Experten die Einstufung vorgenommen, ob die Anforderungen jeweils für die Systemumgebung der CP3 als relevant (✓), teilweise relevant ((✓)) oder nicht relevant (x) eingeschätzt werden (Tabelle 12).

Tabelle 12: Gültigkeit der Anforderungen an die Bewertungssystematik für CP

	Experte12	Experte14	Experte25	Experte28	Experte41	Experte48	Mittel
1.1	(✓)	x	✓	(✓)	✓	x	(✓)
2.1	✓	(✓)	✓	x	✓	✓	✓
2.2	(✓)	x	✓	(✓)	✓	✓	✓
2.3	✓	x	✓	(✓)	✓	✓	✓
2.4	✓	(✓)	✓	✓	✓	x	✓
2.5	✓	✓	✓	✓	✓	(✓)	✓
2.6	✓	✓	✓	✓	✓	(✓)	✓
3.1	x	x	✓	✓	(✓)	x	(✓)
4.1	x	(✓)	(✓)	✓	✓	✓	(✓)
4.2	✓	(✓)	✓	✓	(✓)	✓	✓
5.1	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
5.2	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
5.3	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
6.1	-	-	✓	-	✓	✓	✓
6.2	(✓)	✓	✓	(✓)	x	✓	(✓)
7.1	-	x	(✓)	-	(✓)	x	(✓)
7.2	✓	✓	✓	(✓)	x	✓	✓
7.3	✓	✓	✓	✓	✓	x	✓
7.4	✓	✓	(✓)	✓	✓	x	✓
7.5	✓	✓	✓	x	✓	✓	✓
7.6	✓	(✓)	✓	x	✓	✓	✓

¹³¹ vgl. Kap. 4.3.2: Ziele, Anforderungen und Randbedingungen der Bewertungssystematik

¹³² vgl. Kap. 3.2.2: Validierung der Arbeit durch zwei CP (CP3 und CP4), die sich in spezifischen Elementen unterscheiden Marxen und Albers (2012)

Etwaige Streuungen der Experteneinstufungen sind in dieser Arbeit nicht weiter untersucht, da die prinzipielle Gültigkeit für CP gezeigt werden soll. Für einen aggregierten Überblick wurde jeweils das Mittel aus \checkmark , (\checkmark) und \times gebildet. Sofern keine Aussage möglich war (-), wurde die Angabe im Mittel nicht berücksichtigt. Beispielsweise ist das Mittel für 1.1 (\checkmark). Die zweimal genannten \checkmark von Experte25 und Experte41 gleichen sich mit den zweimal genannten \times von Experte14 und Experte48 aus. Aufgrund der zweimal genannten (\checkmark) von Experte28 und Experte12 ergibt sich daraus das Mittel (\checkmark). Sofern kein eindeutiges Mittel hervorgeht, wurde die Angabe von Experte25 doppelt gewertet, da dieser ein fachbereichsübergreifendes Fachwissen auf Managementebene aufweist. Dieser Fall trifft auf 3.1 mit dem Mittel (\checkmark) zu. Die zweimal genannten \checkmark gleichen sich mit zwei der dreimal genannten \times aus. Zum Ausgleich des dritten der dreimal genannten \times und dem einmal genannten (\checkmark) wurde das \checkmark von Experte25 doppelt gewertet. Durch die Mittel kann prinzipiell die Gültigkeit der Anforderungen für die Systemumgebung der CP3 und somit für CP bestätigt werden. Die Experten konnten zudem weitere Anforderungen und Randbedingungen für CP nennen. Die Realisierung einer nachhaltigen Dokumentation der Bewertungen von Varianten wurde von Experte14 und Experte41 empfohlen und somit im Zielsystem der Bewertungssystematik als Randbedingung aufgenommen¹³³.

4.3.4 Wechselwirkungen innerhalb des Zielsystems der Bewertungssystematik

Die Wechselwirkungen innerhalb des Zielsystems der Bewertungssystematik wurden mit den Anforderungen und den Randbedingungen als Elemente des Zielsystems der Bewertungssystematik¹³⁴ unter anderem durch ein standardisiertes Interview mit Experte25 untersucht. Mit Hilfe der Einflussanalyse¹³⁵ sind die Abhängigkeiten der Elemente in einer Matrix modelliert (Tabelle 13). Sofern ein vertikal aufgelistetes Element ein horizontal aufgelistetes Element (nicht) beeinflusst, erhält der Matrixeintrag den Wert 1 (0). Zur Vereinfachung in der Praxis wurde nicht zwischen einem positiven und einem negativen Einfluss differenziert. Zudem forderte Experte25 im Gegensatz zu der in der Literatur beschriebenen Skalierung (0,1,2,3) eine vereinfachte Skalierung (0,1).

¹³³ vgl. Kap. 4.3.2

¹³⁴ vgl. Kap. 4.3.2

¹³⁵ vgl. Kap. 2.3.2.3: Vorgehen zur Identifikation von entscheidenden Faktoren mittels Indikatoren (Aktivsumme, Passivsumme, Proaktivitätsindex, Dynamikindex) im Rahmen der Einflussanalyse

Tabelle 13: Wechselwirkungen innerhalb des Zielsystems der Bewertungssystematik

	1.1	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	3.1	4.1	4.2	5.1	5.2	5.3	6.1	6.2	7.1	7.2	7.3	7.4	7.5	7.6	A	P	DI	PI	
1.1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1.1	7	6	42	1,2
2.1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2.1	4	7	28	0,6
2.2	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2.2	5	6	30	0,8
2.3	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2.3	5	5	25	1,0
2.4	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.4	2	0	0	-
2.5	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	2.5	3	14	42	0,2
2.6	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	2.6	4	15	60	0,3
3.1	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	3.1	5	2	10	2,5
4.1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	4.1	10	7	70	1,4
4.2	1	0	1	1	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	4.2	10	7	70	1,4
5.1	0	1	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	5.1	6	3	18	2,0
5.2	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	5.2	5	3	15	1,7
5.3	1	1	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	5.3	7	3	21	2,3
6.1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6.1	1	9	9	0,1
6.2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6.2	1	8	8	0,1
7.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	7.1	1	2	2	0,5
7.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	7.2	1	7	7	0,1
7.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1	7.3	4	7	28	0,6
7.4	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	7.4	5	9	45	0,6
7.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	7.5	1	10	10	0,1
7.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7.6	0	6	0	0,0
8.1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					
8.2	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					
8.3	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0					
8.4	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0					
9.1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0					
9.2	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1					
9.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					
9.4	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					
9.5	0	1	0	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0					
9.6	1	0	0	0	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1					

Legende:	
0	kein Einfluss
1	Einfluss
	Fokus Anforderungen
	Untersuchungen
	Aussage Experte25
	Annahmen

Bei der Modellierung der Wechselwirkungen wurde unterschieden, ob der identifizierte Einfluss aufgrund der Untersuchungsergebnisse in der Phase der Arbeit¹³⁶ *Potentialfindung für die Bewertungssystematik* gefolgert wurde (blaugrau), mit Hilfe des Eperte25 bestimmt wurde (mittelblau) oder auf einer Annahme infolge eigener Beobachtungen beruht (hellblau).¹³⁷ Da eine Anforderung sich nicht selbst beeinflussen kann, ist die Diagonale grau hinterlegt. In der Matrix sind nur die direkten

¹³⁶ vgl. Kap. 3.2

¹³⁷ Blessing und Chakrabarti (2009, S. 20–23) differenzieren bei der Darstellung von Wechselwirkungen unter anderem zwischen Annahmen, Erfahrungen der Stakeholder und eigenen Untersuchungen

Beziehungen aufgeführt, die für die Entwicklung der Bewertungssystematik als relevant angenommen sind. Infolgedessen ist die Matrix nicht als vollständig anzunehmen. Bei der Modellierung wurde der Einfluss von den Anforderungen und den Randbedingungen auf die Anforderungen berücksichtigt. Der Einfluss auf die Randbedingungen ist in dieser Arbeit nicht weiter beachtet.

Ziel der Einflussanalyse ist es, die Anforderungen zu identifizieren, die in den Phasen der Arbeit¹³⁸ *Konzeption der Bewertungssystematik* und *Umsetzung der Bewertungssystematik als Tool* zu fokussieren sind (grün). Dafür sind die Aktivsumme (A), die Passivsumme (P), der Dynamikindex (DI) und der Proaktivitätsindex (PI) als Indikatoren der Einflussanalyse berechnet. Nach Abstimmung mit Experte²⁵ sind die Anforderungen zu fokussieren, die die weiteren Anforderungen im Verhältnis stärker beeinflussen als von diesen beeinflusst werden ($PI > 1$). Zu fokussierende Anforderungen sind vor allem die Berücksichtigung von Wissen über CP (5.1) ($PI=2,0$), Prozesse (5.2) ($PI=1,7$) und Methoden (5.3) ($PI=2,3$) während der Entwicklung der Bewertungssystematik sowie die Integration von involvierten Fachbereichen während der Bewertung (3.1) ($PI=2,5$). Zudem zählt die Realisierung einer objektivierten und aggregierten Bewertung (1.1) ($PI=1,2$) dazu, die einheitlich und definiert (4.1) ($PI=1,4$) und zugleich bedarfsgerecht anpassbar sein soll (4.2) ($PI=1,4$). Ein Fokus soll auch auf der Realisierung eines positiven Anwendererlebnisses (2.4) ($PI=$ existiert nicht) liegen, da diese Anforderung von keiner Anforderung und Randbedingung beeinflusst wird ($PS=0$). Infolge der Einflussanalyse ist davon auszugehen, dass die weiteren Anforderungen erfüllt sind, sofern die zu fokussierenden Anforderungen im Rahmen des Forschungsprojekts realisiert werden.

4.4 Fazit zum Zielsystem der Bewertungssystematik für Common-Rail Pumpen

Das Kapitel 4 umfasst die Untersuchungsergebnisse der Phase der Arbeit¹³⁹ *Potentialfindung für die Bewertungssystematik*. Zunächst wurde die Variantenvielfalt in der Angebotsphase der CP4 des automobilen Zulieferers untersucht.¹⁴⁰ In teilstandardisierten Interviews ($n=24$) wurde der Referenzprozess der Angebotsphase bei dem automobilen Zulieferer erarbeitet. Unterstützt haben dabei Experten verschiedener Hierarchieebenen und Fachbereiche. Die Untersuchung der Variantenvielfalt erfolgte auf Grundlage von Datensätzen ($n=2$) aus dem Jahr 2010 und 2016. Zur

¹³⁸ vgl. Kap. 3.2

¹³⁹ vgl. Kap. 3.2

¹⁴⁰ vgl. Kap. 4.1

Untersuchung der Abweichungen des IST-Prozesses vom Referenzprozess der Angebotsphase wurden Datensätze (n=5) aus den Jahren von 2012 bis einschließlich 2016 herangezogen. Darin sind die in dem Zeitraum angefragten Varianten inklusive der Zeitpunkte in der Angebotsphase aufgelistet, bei welchen die Variante dem Management des Produktbereichs vorgestellt wurde. Ein Ergebnis der Untersuchung ist, dass der Prozess in der Angebotsphase variantenindividuell gehandhabt wird. In den Interviews wurde zusätzlich ein Überblick über die Methoden in der Angebotsphase geschaffen. Unter anderem resultiert aus der Untersuchung die unternehmensspezifische Klassifizierung von Varianten. Zum einen wird klassifiziert, ob eine betrachtete Variante in der Serienfertigung implementiert ist oder nicht. Sofern diese nicht in der Serienfertigung implementiert ist, wird klassifiziert, wie hoch der geschätzte Neuentwicklungsanteil und wie hoch der geschätzte Aufwand zur Herstellung ist. Die Häufigkeiten der unterschiedlichen Varianten innerhalb eines Monats sind mit Datensätzen (n=12) aus den Monaten des Jahres 2017 untersucht. Zur Validierung der Ergebnisse wird die Untersuchung weiterer Datensätze empfohlen.

Um die Untersuchungsergebnisse hinsichtlich der Variantenvielfalt in der Angebotsphase der CP4 zu spezifizieren, beinhaltet die Phase der Arbeit¹⁴¹ *Potentialfindung für die Bewertungssystematik* zudem die Untersuchung des Umgangs mit Variantenvielfalt der CP4.¹⁴² Diese Untersuchung erfolgte mit Hilfe einer Fragebogenstudie (n=363). Die Fragebogenstudie umfasst neben Fragen mit vorgegebenen Antwortoptionen, auch optionale Fragen in Form eines Freitextfeldes. Obwohl bei optionalen Freitextfeldern eine geringere Beteiligung zu erwarten war, wurden diese gewählt, um den Teilnehmern beim Verfassen der Angaben mehr Gestaltungsfreiraum zu lassen. Zum einen wurden die Ursachen und Auswirkungen von Variantenvielfalt und zum anderen die Herausforderungen im Umgang mit Variantenvielfalt untersucht. In einem optionalen Freitextfeld konnten die Teilnehmer ihre Vorschläge für einen zielgerichteten Umgang mit Variantenvielfalt beschreiben. Die Fragebogenstudie wurde gezielt an ausgewählte Fachbereiche geschickt, die von der Variantenvielfalt der CP4 betroffen sind. Teilnehmer der Studie waren Experten verschiedener Fachbereiche und Hierarchieebenen. Um die Ergebnisse zu verallgemeinern, sind weitere Experten zu involvieren.

Zur Spezifizierung des in der Literatur identifizierten Forschungsbedarfs in der Praxis, wurde der Bedarf im Umgang mit Variantenvielfalt in der Angebotsphase für CP

¹⁴¹ vgl. Kap. 3.2

¹⁴² vgl. Kap. 4.2

untersucht.¹⁴³ Die Untersuchungsergebnisse aus der Phase der Arbeit¹⁴⁴ *Potentialfindung für die Bewertungssystematik* wurden mit Experten (n=4) hinsichtlich den Herausforderungen und den Zielen für die Bewertungssystematik diskutiert. Die Anforderungen und die Randbedingungen des Zielsystems der Bewertungssystematik wurden im Wesentlichen mit Experten (n=2) während der Phase der Arbeit¹⁴⁵ *Potentialfindung für die Bewertungssystematik* erarbeitet. Aufgrund der teilweise iterativen Vorgehensweise des Forschungsprojekts wurde das Zielsystem der Bewertungssystematik während den Phasen der Arbeit¹⁴⁶ *Konzeption der Bewertungssystematik* und *Umsetzung der Bewertungssystematik als Tool* kontinuierlich weiterentwickelt. Die Anforderungen, die überwiegend mit Experten der CP4 identifiziert wurden, wurden mit Experten (n=6) der CP3 bezüglich der Gültigkeit für CP evaluiert. Es wird empfohlen weitere Experten zur Überprüfung der Gültigkeit für CP heranzuziehen. Ebenfalls ist es empfehlenswert, zusätzliche Experten bei der Identifikation der Ziele, der Anforderungen und der Randbedingungen einzubinden. Zur Untersuchung der Wechselwirkungen innerhalb des Zielsystems der Bewertungssystematik wurde jeweils der Einfluss zwischen den Anforderungen und den Randbedingungen untersucht. Identifizierte Wechselwirkungen basieren entweder auf den Aussagen eines Experten, auf den Untersuchungsergebnissen aus der Phase der Arbeit¹⁴⁷ *Potentialfindung für die Bewertungssystematik* oder auf Annahmen. Mit Hilfe der Einflussanalyse¹⁴⁸ wurden die Anforderungen identifiziert, die in den Phasen der Arbeit *Konzeption der Bewertungssystematik* und *Umsetzung der Bewertungssystematik als Tool* zu fokussieren sind. Dafür wurden Indikatoren der Einflussanalyse berechnet, die mit einem Experten diskutiert wurden und auf deren Grundlage die Auswahl der zu fokussierenden Anforderungen getroffen wurde. Um die Auswahl zu evaluieren, sind weitere Experten bei der Untersuchung zu involvieren.

¹⁴³ vgl. Kap. 4.3

¹⁴⁴ vgl. Kap. 3.2

¹⁴⁵ vgl. Kap. 3.2

¹⁴⁶ vgl. Kap. 3.2

¹⁴⁷ vgl. Kap. 3.2

¹⁴⁸ vgl. Kap. 2.3.2.3: Vorgehen zur Identifikation von entscheidenden Faktoren mittels Indikatoren im Rahmen der Einflussanalyse

5 Bewertungssystematik für Common-Rail Pumpen

Dieses Kapitel umfasst die Forschungsergebnisse während der dritten Phase der Arbeit¹⁴⁹ *Konzeption der Bewertungssystematik*. Ziel der Phase ist es, den in der Phase *Literaturrecherche* identifizierten und den in der Phase *Potentialfindung für die Bewertungssystematik* spezifizierten Forschungsbedarf bei dem automobilen Zulieferer für CP durch die Bewertungssystematik für CP zu decken.¹⁵⁰ Dafür dient die Systemumgebung der CP4. Zum einen wurde der Bewertungsprozess als Teil des SOLL-Prozesses der Angebotsphase entwickelt, der in Kapitel 5.1 beschrieben ist. Zum anderen wurde die Methode zur Bewertung von Varianten in der Angebotsphase entwickelt, die in Kapitel 5.2 beschrieben ist. Zur Erhöhung des Verständnisses über die Abhängigkeiten zwischen dem Zielsystem von Varianten und den Elementen des Referenzsystems von Varianten in der Angebotsphase, wurden die Wechselwirkungen zwischen den Elementen der Bewertungssystematik untersucht (Kapitel 5.3). Im Fazit (Kapitel 5.4) sind die Ergebnisse zusammengefasst und reflektiert.

5.1 Bewertungsprozess in der Angebotsphase

Das Vorgehen zur Entwicklung des Bewertungsprozesses ist in Abbildung 5.1 visualisiert. Bei der Entwicklung wurden verschiedene Analyse- und Syntheseaktivitäten durchgeführt. Die Aktivitäten, die in den Unterkapiteln beschrieben sind, sind entsprechend in der Spalte Analyse oder in der Spalte Synthese aufgeführt. Die Analyseaktivitäten basieren auf teilstandardisierten Interviews. Die Syntheseaktivitäten stellen im Wesentlichen die Konsolidierung der Ergebnisse aus den Interviews dar. Das Unterkapitel mit den Erkenntnissen ist grün hervorgehoben. Die Erkenntnisse resultieren aus der Interpretation der Ergebnisse aus der Entwicklung des Bewertungsprozesses (Synthese) (Kapitel 5.1.4). Mit Experten (n=3) (Experte20, Experte25 und Experte55)¹⁵¹ wurden Anwender-, Kunden- und Anbieternutzen einer

¹⁴⁹ vgl. Kap. 3.2

¹⁵⁰ vgl. Kap. 3.2

¹⁵¹ vgl. Kap. 3.3.3: Involvierte Experten während des Forschungsprojekts

Variante diskutiert (Analyse) (Kapitel 5.1.1). Darauf aufbauend wurde das Produktprofil als Teil des initialen Zielsystems einer Variante¹⁵² aufgestellt (Synthese) (Kapitel 5.1.1). Zudem wurden mit diesen Experten (n=3) die zu bewertenden Elemente des Referenzsystems diskutiert (Analyse) (Kapitel 5.1.2), auf deren Grundlage die Bewertungselemente abgeleitet wurden (Synthese) (Kapitel 5.1.2).

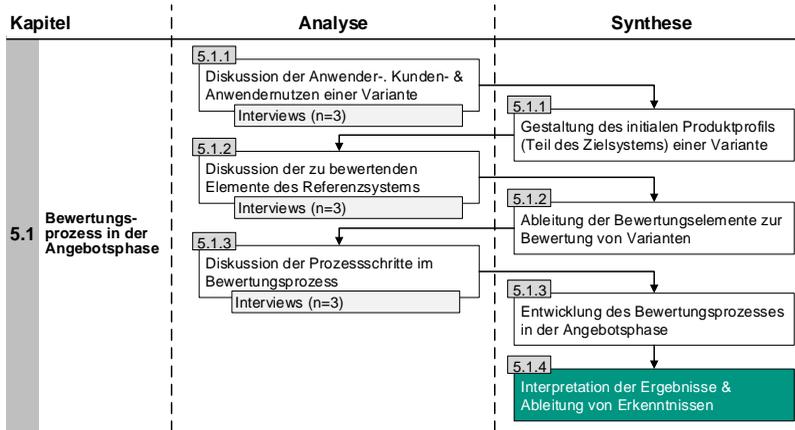


Abbildung 5.1: Vorgehen zur Entwicklung des Bewertungsprozesses in der Angebotsphase

Ein erster Bewertungsprozess wurde auf Basis teilnehmender Beobachtungen entwickelt und diente als Diskussionsgrundlage für weitere teilstandardisierte Interviews (n=3) (Experte20, Experte25 und Experte45) (Analyse) (Kapitel 5.1.3). Zur Modellierung des Bewertungsprozesses wurde die Modellierungstechnik für das Wissensmanagement, das Prozessmanagement und die Methodenanwendung¹⁵³ herangezogen (Synthese) (Kapitel 5.1.3), da mit dieser Technik die Aktivitäten der

¹⁵² Hinweis: In den vorherigen Kapiteln war die Rede von dem *Zielsystem der Bewertungssystematik* mit den Zielen, Anforderungen und Randbedingungen zur Entwicklung der Bewertungssystematik. Das *Zielsystem der Variante* umfasst die Ziele, Anforderungen und Randbedingungen zur Entwicklung der Variante.

¹⁵³ vgl. Kap. 2.3.2.3

Produktentstehung in Zusammenhang mit den gewählten Methoden und den dafür verantwortlichen Fachbereichen abbildbar sind.

5.1.1 Produktprofil (Teil des initialen Zielsystems) einer Variante

Das Produktprofil als Teil des initialen Zielsystems einer Variante wurde mit Experten ($n=3$) diskutiert, um einen Überblick über mögliche initiale Ziele, Anforderungen und Randbedingungen der Stakeholder zum Zeitpunkt der Variantenanfrage in der Angebotsphase zu schaffen. Die Diskussionsergebnisse sind in Abbildung 5.2 dargestellt. Unterteilt nach den Elementen des Produktprofils *Anwender-, Kunden-, Anbieternutzen* sind beispielhafte Beschreibungen für CP-Varianten mit Fokus auf den Anbieternutzen aufgeführt. Mit den Beispielen ist ein Überblick gegeben und hat keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Der Kunden-, Anbieter- und Anwendernutzen kann variantenindividuell ausgeprägt sein. Der Anbieternutzen ist in diesem Zusammenhang der Nutzen für das Unternehmen der automobilen Zulieferindustrie, das eine CP-Variante anbietet. (Peglow et al., 2019)

iPeM-Layer	Elemente des Produktprofils einer Variante		
	Anwendernutzen	Kundennutzen	Anbiaternutzen
Strategie	Niedriger Preis	Niedriger Preis	Hohes Marktpotential, Konsistenz zur Kundenstrategie
Produkt G_n	Gewünschte(s) Produktdesign, -leistung & User Experience	Gewünschte(s) Produktdesign & -leistung	Konsistenz zu existierenden Produktstrukturregeln
Validierungssystem	Gewährleistung der Produktsicherheit & -haftung	Gewährleistung der Produktsicherheit & -haftung	Gewährleistung der Produktsicherheit & -haftung, Verwendung des existierenden Erprobungskonzepts
Produktionssystem	Hohe Produktqualität	Hohe Produktqualität, Einschränkung der Fertigungsstandorte	Hohe Produktqualität, Verwendung des existierenden Fertigungskonzepts, Beschaffungskonzepts & Logistikkonzepts

Abbildung 5.2: Elemente des Produktprofils einer Variante (Peglow et al., 2019)

Der Kundennutzen beschreibt den Nutzen des Automobilherstellers, der bei dem Automobilzulieferer eine CP-Variante anfragt. Der Anwendernutzen ist der Nutzen des Käufers des Fahrzeugs, indem die CP-Variante verbaut ist. Mit Hilfe der fachbereichsübergreifenden Auswahl der Experten wurden Beispiele bestimmt, die unterschiedliche Elemente des Referenzsystems aus verschiedenen iPeM-Layern adressieren.¹⁵⁴ Beispielsweise verfolgt der Anbieter das Ziel, dass die angefragte Variante konsistent zu den bei der Entwicklung der Produktgeneration aufgestellten Produktstrukturregeln sein soll und dass die Variante mit dem existierenden Fertigungskonzept herstellbar sein soll. Die Produktstrukturregeln umfassen die definierten Regeln zur Kombination von Produktgestaltelelementen und Produktfunktionen einer Produktgeneration und sind dem iPeM-Layer *Produkt G_n* zugeordnet. Das Fertigungskonzept ist ein Element des iPeM-Layers *Produktionssystem*. Die damit verbundene Anforderung, dass die angefragte Variante mit dem bestehenden Fertigungskonzept herstellbar sein soll, ist somit auch dem iPeM-Layer *Produktionssystem* zugehörig. Mögliche Zielkonflikte können zwischen den Nutzen resultieren. Zum Beispiel kann der Kunde ein spezifisches Produktdesign der Variante anfragen, die mit den Produktstrukturregeln des Anbieters nicht abbildbar ist. In diesem Fall sind die Auswirkungen auf die betroffenen Elemente des Referenzsystems zu prüfen, indem unter anderem die Herstellbarkeit dieser nicht im Produktportfolio eingeplanten und somit nicht in der Serienfertigung implementierten Variante¹⁵⁵ mit dem existierenden Fertigungskonzept – inklusive der Fertigungstechnologien und der Fertigungsprozesse – bewertet wird. Des Weiteren kann seitens der Anwender ein niedriger Preis des Fahrzeugs und somit der CP-Variante gewünscht sein. Der gewünschte niedrige Preis kann im Widerspruch zu der zu gewährleistenden Produktqualität seitens des Anbieters stehen. (Peglow et al., 2019)

5.1.2 Bewertungselemente zur Bewertung von Varianten

Abhängig von der variantenindividuellen Ausprägung des Produktprofils einer Variante können verschiedene Elemente des Referenzsystems der Variante betroffen sein. Auf Basis der beispielhaften Anwender-, Kunden- und Anbieternutzen wurden mit Experten (n=3) die Elemente der Referenzsysteme möglicher Varianten bestimmt, die jeweils – abhängig von der Ausprägung des Produktprofils der Variante

¹⁵⁴ vgl. Kap. 2.1.2.2 und Kap. 2.1.3.3: Erläuterungen zum iPeM und zum Referenzsystem der PGE - Produktgenerationsentwicklung

¹⁵⁵ vgl. Kap. 4.1: Klassifizierung von Varianten in der Angebotsphase

– hinsichtlich der Konsistenz mit dem Zielsystem der Variante von den verantwortlichen Entwicklerteams¹⁵⁶ vor der ökonomischen Bewertung¹⁵⁷ zu bewerten sind. Die zu bewertenden Elemente des Referenzsystems einer Variante sind in der Arbeit als Bewertungselemente (mit $i=1,2,3,4,5$) benannt. Die Bewertungselemente sind – entsprechend der Elemente des Referenzsystems – jeweils einem iPeM-Layer zugeordnet (Abbildung 5.3). (Peglow et al., 2019)

iPeM-Layer	Bewertungselement (i)			
Strategie	Produktstrategie (i=1)			statisch
Produkt G_n	Produktdesign (i=2)			
Validierungssystem	Erprobungskonzept (i=3)			variabel
Produktionssystem	Fertigungskonzept (i=4)	Beschaffungskonzept (i=5)	Logistikkonzept (i=6)	

Abbildung 5.3: Bewertungselemente zur Bewertung des Zielsystems einer Variante (Peglow et al., 2019)

Für die Bewertung auf strategischer Ebene wurde für den iPeM-Layer *Strategie* das Bewertungselement *Produktstrategie* ($i=1$) bestimmt. Mit dem Bewertungselement *Produktdesign* ($i=2$) des iPeM-Layers *Produkt G_n* sind die Variationen der Variante im Vergleich zu den Referenzprodukten zu prüfen. Das Bewertungselement *Erprobungskonzept* ($i=3$) des iPeM-Layers *Validierungssystem* unterstützt bei der Einschätzung, ob die Variante unter anderem mit der vorhandenen Prüf- und Messtechnik abbildbar ist. Für den iPeM-Layer *Produktionssystem* wurden drei Bewertungselemente identifiziert. Dazu zählen das Bewertungselement *Fertigungskonzept* ($i=4$) und das Bewertungselement *Beschaffungskonzept* ($i=5$) zur Abschätzung der Auswirkungen im Rahmen der Eigenfertigung des Anbieters und im Rahmen der Fremdfertigung beim Lieferanten. Das Bewertungselement *Logistikkonzept* ($i=6$) umfasst die Bewertung der Auswirkungen beispielsweise auf die Bestandsplanung und die Materialdisposition. Aus den Interviews geht hervor, dass unter Beachtung der

¹⁵⁶ vgl. Kap. 5.1.3: Verantwortlichkeiten der Entwicklerteams für die Bewertungselemente

¹⁵⁷ vgl. Kap. 2.3.1.3: Aktivitäten der Angebotsphase

Dauer des Forschungsprojekts¹⁵⁸ das Bewertungselement *Logistikkonzept* (i=6) in der Arbeit nicht weiter berücksichtigt wird. (Peglow et al., 2019)

Zur Realisierung eines standardisierten und zugleich bedarfsgerecht anpassbaren Bewertungsprozesses¹⁵⁹, geht aus den Interviews hervor, dass die Bewertungselemente *Produktstrategie* (i=1) und *Produktdesign* (i=2) als statisch und die Bewertungselemente *Erprobungskonzept* (i=3), *Fertigungskonzept* (i=4) und *Beschaffungskonzept* (i=5) als variabel anzusehen sind. Die statischen Bewertungselemente repräsentieren mit den Meilensteinen die strukturgebenden Elemente des Bewertungsprozesses, wodurch das Maß an Standardisierung festgelegt ist. Die statischen Bewertungselemente *Produktstrategie* (i=1) und *Produktdesign* (i=2) sind für alle Varianten zu bewerten, die nicht in der Serienfertigung implementiert sind. Die variablen Bewertungselemente repräsentieren die flexiblen Elemente des Bewertungsprozesses, wodurch das Maß an Flexibilität in strukturierter Art festgelegt ist. Die variablen Bewertungselemente ermöglichen, dass der Bewertungsprozess zum Zeitpunkt der Initiierung des Bewertungsprozesses – abhängig von der variantenindividuellen Ausprägung des Produktprofils – durch eine bedarfsgerechte Kombination der Bewertungselemente *Erprobungskonzept* (i=3), *Fertigungskonzept* (i=4) und *Beschaffungskonzept* (i=5) erweitert werden kann. Zudem kann dadurch der Bewertungsprozess während der Durchführung des Prozesses – abhängig von unvorhergesehenen Änderungen des Zielsystems einer betrachteten Variante – an definierten Zeitpunkten im Bewertungsprozess angepasst werden. Auf Basis von ASD – Agile Systems Design¹⁶⁰ wird durch das definierte Maß an Struktur und Flexibilität ein definiertes Maß an Agilität im Bewertungsprozesses ermöglicht. (Peglow et al., 2019)

Zur *Bewertung der Konsistenz des Zielsystems einer Variante hinsichtlich den Bewertungselementen* (nachfolgend: Bewertung der Bewertungselemente) sind jeweils dieselbe Art, Anzahl und Abfolge an Aktivitäten der Produktentstehung erforderlich. Insbesondere sind dafür die Aktivitäten der Produktentstehung *Profile finden*, *Validieren und verifizieren* und *Wissen managen* notwendig, die im Phasenmodell des iPeM – abhängig von den ausgewählten variablen Bewertungselementen – gemeinschaftlich und wiederkehrend auftreten. Weitere Aktivitäten der Produktentstehung können ebenfalls bei der Bewertung unterstützen, die im Folgenden nicht weiter spezifiziert sind. Mit der Aktivität *Profile finden* werden die Auswirkungen einer Variante auf das jeweilige Element des Referenzsystems mit Hilfe der Methode zur Bewertung abgebildet. Die Aktivität *Validieren und verifizieren* ist dabei

¹⁵⁸ vgl. Kap. 4.3.2: Zielsystem der Bewertungssystematik Randbedingung 8.3

¹⁵⁹ vgl. Kap. 4.3.2: Zielsystem der Bewertungssystematik: Anforderungen 4.1 und 4.2

¹⁶⁰ vgl. Kap. 2.1.2.3

die zentrale Aktivität, mit der die Entwicklerteams die Auswirkungen analysieren und bewerten. Durch die Aktivität *Wissen managen* wird das bei der Bewertung notwendige Wissen bereitgestellt und die Bewertungsergebnisse nachhaltig dokumentiert. Die Aktivitäten werden durch die entwickelte Methode zur Bewertung unterstützt, die für jedes Bewertungselement im Wesentlichen dieselben Bewertungskriterien umfasst¹⁶¹. Abhängig vom betrachteten Bewertungselement sind die Bewertungskriterien elementspezifisch ausgeprägt. Ein Beispiel dafür ist die Fokussierung auf die Fertigungstechnologien und -prozesse in der Eigenfertigung im Rahmen des Bewertungselements *Fertigungskonzept* (i=4) und der Fremdfertigung im Rahmen des Bewertungselements *Beschaffungskonzept* (i=5). Aufgrund der elementspezifischen Ausprägung werden die gemeinschaftlich auftretenden und wiederkehrenden Aktivitäten der Produktentstehung *Profile finden*, *Validieren und verifizieren* und *Wissen managen* im Rahmen des Bewertungsprozesses als elementspezifische Aktivitätsmuster verstanden. (Peglow et al., 2019)

5.1.3 Bewertungsprozess als Teil des SOLL-Prozesses der Angebotsphase

Zur Bewertung des Zielsystems einer Variante wird ein Bewertungsprozess vorgeschlagen, der als SOLL-Prozess¹⁶² für die Aktivität *Technische und strategische Bewertung des initialen Zielsystems einer Variante* der Angebotsphase¹⁶³ dient. Der Bewertungsprozess (Abbildung 5.4) wurde mit Experten (n=3) erarbeitet und ist mit Hilfe der Modellierungstechnik für das Wissensmanagement, das Prozessmanagement und die Methodenanwendung¹⁶⁴ modelliert. Übergeordnet sind die Aktivitäten der Angebotsphase *Initiale Bewertung des Produktprofils einer Variante* und *Technische und strategische Bewertung des initialen Zielsystems einer Variante* abgebildet. (Peglow et al., 2019)

Der vorgeschlagene Bewertungsprozess schließt an die Aktivität *initiale Bewertung des Produktprofils einer Variante* an und endet mit der Entscheidung, ob QG1 durchzuführen ist.¹⁶⁵ Die Prozessschritte sind jeweils als Aktivitätsbox visualisiert.

¹⁶¹ vgl. Kap. 5.2.1

¹⁶² vgl. Kap. 2.1.2.2: Abgrenzung Referenz-, SOLL-, IST-Prozess

¹⁶³ vgl. Kap. 2.3.1.3: Aktivitäten der Angebotsphase

¹⁶⁴ vgl. Kap. 2.3.2.3

¹⁶⁵ vgl. Kap. 4.1.1

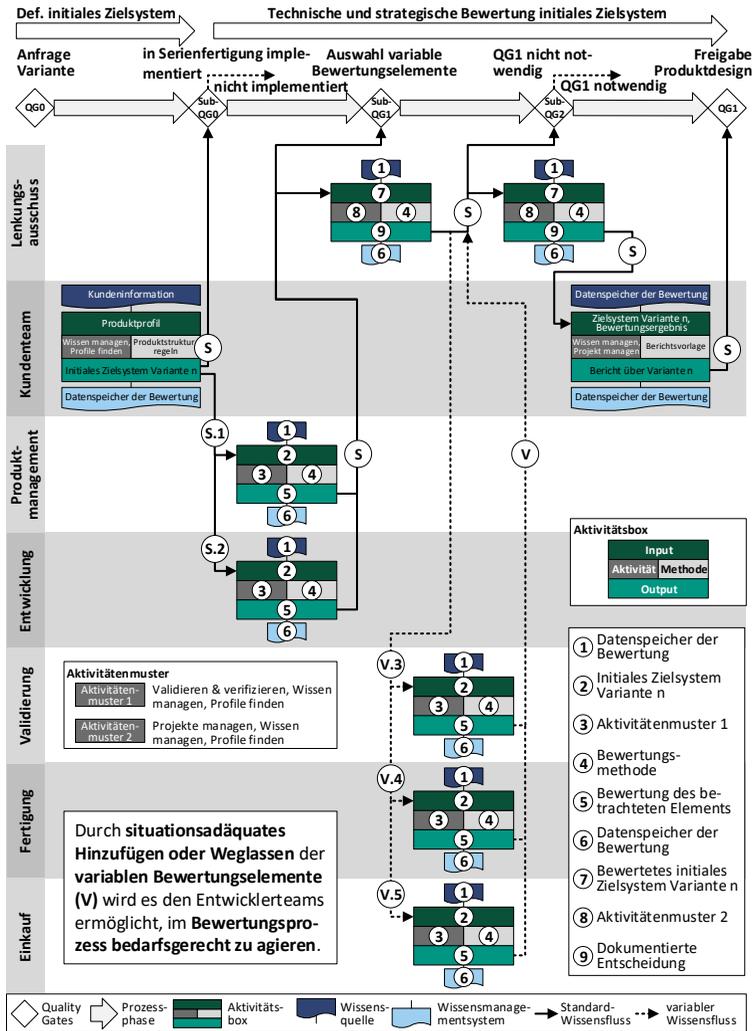


Abbildung 5.4: Bewertungsprozess als Teil des SOLL-Prozess der Angebotsphase von Varianten (Peglow et al., 2019)

Die Aktivitätsbox für die initiale Bewertung ist konform zu der analogen Aktivitätsbox des Referenzprozesses der Angebotsphase und ist im SOLL-Prozess weiterhin dem Kundenteam mit Experten der Entwicklung und des Vertriebs zugeordnet. Nach dieser Aktivitätsbox erfolgt der Bewertungsprozess mit den zusätzlichen Quality Gates (Sub-QG0, Sub-QG1, Sub-QG2) und den Bewertungen der Bewertungselemente. Der Bewertungsprozess entspricht einem modularen Prozess, der ein bedarfsgerechtes Erweitern eines definierten Standardprozesses um weitere Bewertungselemente erlaubt. Sowohl die statischen als auch die variablen Bewertungselemente können zeitlich unabhängig voneinander bewertet werden und die Bewertung weiterer Bewertungselemente initiieren. Die Bewertungen der Bewertungselemente werden jeweils durch ein Entwicklerteam verantwortet. Mit den dazugehörigen Aktivitätsboxen sind jeweils die wesentlichen Aktivitäten der Produktentstehung *Validieren und verifizieren*, *Wissen managen* und *Profile finden* (Aktivitätenmuster 1) als elementspezifische Aktivitätenmuster¹⁶⁶ modelliert. Das initiale Zielsystem der angefragten Variante (Variante n) verdeutlicht den Input und die Bewertung des betrachteten Bewertungselements den Output der Aktivitätsbox. Für jede Aktivitätsbox des Bewertungsprozesses ist der Datenspeicher zur Bewertung sowohl die Wissensquelle, als auch das Wissensmanagementsystem, um eine durchgängige Dokumentation der Bewertung zu gewährleisten. Als Methode ist die Methode zur Bewertung¹⁶⁷ aufgeführt. Der Wissensfluss ist durch *Buchstabe* beziehungsweise *Buchstabe.Ziffer* visualisiert. *Buchstabe* steht für die Unterscheidung, ob es sich um den Standard-Wissensfluss (S) oder um den variablen Wissensfluss (V) – aufgrund ausgewählter, variabler Bewertungselemente – handelt. *Ziffer* verdeutlicht das adressierte Bewertungselement (i=1,2,3,4,5)¹⁶⁸. (Peglow et al., 2019)

Sofern eine Variante vorliegt (Sub-QG0), die nicht in der Serienfertigung implementiert ist, erfolgt der Standard-Wissensfluss mit der Bewertung der statischen Bewertungselemente *Produktstrategie* (i=1) (S.1) und *Produktdesign* (i=2) (S.2). Das Bewertungselement *Produktstrategie* (i=1) wird von dem Fachbereich *Produktmanagement* verantwortet und das Bewertungselement *Produktdesign* (i=2) von dem Fachbereich *Entwicklung*. Im Rahmen des Standard-Wissensflusses wählt der Lenkungsausschuss als Leitung der für die Bewertungselemente verantwortlichen Entwicklerteams keine weiteren variablen Bewertungselemente aus (Sub-QG1). Der Lenkungsausschuss kann aus Experten der Entwicklerteams zusammengesetzt sein. Es folgt direkt die Entscheidung durch den Lenkungsausschuss über die Notwendigkeit von QG1 (Sub-QG2). Mit den Aktivitätsboxen für Sub-QG1 und Sub-QG2 ist jeweils Aktivitätenmuster 2 mit den wesentlichen Aktivitäten der

¹⁶⁶ vgl. Kap. 5.1.2

¹⁶⁷ vgl. Kap. 5.2

¹⁶⁸ vgl. Kap. 5.1.2: Nummerierung der Bewertungselemente

Produktentstehung *Projekte managen*, *Wissen managen* und *Profile finden* modelliert. Das bewertete initiale Zielsystem der Variante ist der Input und die dokumentierte Entscheidung der Output beider Aktivitätsboxen, wobei die Reifegrade der Inputs und der Outputs unterschiedlich sind. Abhängig von den ausgewählten variablen Bewertungselementen (Sub-QG1) wird der Standard-Wissensfluss zwischen Sub-QG1 und Sub-QG2 durch den variablen Wissensfluss ersetzt. Das Bewertungselement *Erprobungskonzept* (i=3) (V.3) wird von dem Fachbereich *Validierung* verantwortet, das Bewertungselement *Fertigungskonzept* (i=4) (V.4) von dem Fachbereich *Fertigung* und das Bewertungselement *Beschaffungskonzept* (i=5) (V.5) von dem Fachbereich *Einkauf*. (Peglow et al., 2019)

An Sub-QG2 schließt die Aktivitätsbox zur Generierung eines Berichts an, die der Vorbereitung der Managemententscheidung in QG1 durch das Kundenteam dient. Mit der korrespondierenden Aktivitätsbox des Referenzprozesses sind die wesentlichen Aktivitäten der Produktentstehung *Validieren und verifizieren*, *Wissen managen* und *Profile finden* (Aktivitätenmuster 1) modelliert, da die Bewertung der Variante im Referenzprozess durch Abstimmungen mit verschiedenen Fachbereichen erfolgt. Die Abstimmungen sind im SOLL-Prozess durch die Bewertungen der Bewertungselemente ersetzt, weswegen mit der Aktivitätsbox des SOLL-Prozesses die wesentlichen Aktivitäten der Produktentstehung *Projekte managen*, *Wissen managen* und *Profile finden* (Aktivitätenmuster 2) modelliert sind. Auch wenn die Aktivität der Produktentstehung *Validieren und verifizieren* keine wesentliche Aktivität des Aktivitätenmusters 2 ist, hat diese Aktivität bei dem Prozessschritt dennoch eine unterstützende Funktion. Das Kundenteam übernimmt mit einem intensiveren Fokus auf die Aktivität der Produktentstehung *Projekte managen* eine verstärkte koordinierende Rolle im Bewertungsprozess ein. Den Entwicklerteams ist durch die Verantwortung über die Bewertungen der Bewertungselemente eine verstärkte validierende Rolle zugeteilt. (Peglow et al., 2019)

5.1.4 Erkenntnisse zum Bewertungsprozess in der Angebotsphase

Im Folgenden sind die Erkenntnisse aus der Entwicklung des Bewertungsprozesses aufgeführt und mit den Ergebnissen beschrieben.

Die Einzigartigkeit der Angebotsphasen von Varianten ist an der individuellen Ausprägung der Produktprofile von Varianten erkennbar.

Die identifizierten Beispiele für Anwender-, Kunden- und Anbieternutzen adressieren verschiedene Elemente des Referenzsystems. Angefragte Varianten haben jeweils ein individuell ausgeprägtes Produktprofil mit einer spezifischen Auswahl und

Kombination der identifizierten Beispiele und darüber hinausgehenden Nutzen. Die Einzigartigkeit ist unter anderem abhängig von der Anwender- und der Kundenzielgruppe sowie von dem Zeitpunkt der Variantenanfrage im Produktgenerationszyklus. Dies entspricht dem ASD-Prinzip, dass jeder Produktentwicklungsprozess einzigartig ist¹⁶⁹.

Die zentrale Aktivität zur Bewertung eines Bewertungselements ist die Aktivität der Produktentstehung „Validieren und verifizieren“.

Mit der Methode zur Bewertung wird den Entwicklerteams ermöglicht, die Konsistenz des Zielsystems einer Variante hinsichtlich den Bewertungselementen zu bewerten. Darauf aufbauend werden mit der Methode zur Bewertung die Bewertungen der Entwicklerteams objektiviert. Die subjektive Bewertung und die Objektivierung aus Sicht der Entwicklerteams sind Teilaktivitäten der Validierung¹⁷⁰, weswegen die Aktivität der Produktentstehung *Validieren und verifizieren* die zentrale Aktivität im Bewertungsprozess ist.

Die Aktivitätenmuster zur Bewertung der Bewertungselemente sind elementspezifisch ausgeprägt.

Die Bewertungen der Bewertungselemente können jeweils mit den Aktivitäten der Produktentstehung *Validieren und verifizieren*, *Wissen managen* und *Profile finden* im Wesentlichen modelliert werden. Dieses Aktivitätenmuster ist abhängig vom Bewertungselement ausgeprägt, da bei den Bewertungen der Bewertungselemente unterschiedliche Elemente des Referenzsystems einer Variante adressiert werden.

Mit dem Bewertungsprozess wird ein agiles Entwickeln in der Angebotsphase ermöglicht.

Für das gezielte Maß an Standardisierung sind die Bewertungselemente *Produktstrategie* (i=1) und *Produktdesign* (i=2) als statische Bewertungselemente deklariert. Für das Maß an Flexibilität in strukturierter Art sind die Bewertungselemente *Erprobungskonzept* (i=3), *Fertigungskonzept* (i=4) und *Beschaffungskonzept* (i=5) als variable Bewertungselemente festgelegt. Durch die somit abgebildeten strukturgebenden und flexiblen Elemente wird ein definiertes Maß an Agilität realisiert, sodass die

¹⁶⁹ vgl. Kap. 2.1.2.3: Einzigartigkeit eines jeden Produktentwicklungsprozesses (ASD-Prinzip)

¹⁷⁰ vgl. Kap. 2.1.1.3: Teilaktivitäten der Validierung

Entwicklerteams in der dynamisch verändernden Entwicklungsumgebung der Angebotsphase bedarfsgerecht agieren können¹⁷¹.

Der Bewertungsprozess umfasst den modellierten Wissensfluss zwischen den Entwicklerteams sowie die Verantwortlichkeiten der Entwicklerteams zur Anwendung der Methode zur Bewertung.

Zur Modellierung des Bewertungsprozesses wurde die Modellierungstechnik für das Wissensmanagement, das Prozessmanagement und zur Methodenanwendung¹⁷² gewählt, wodurch die Aktivitäten der Produktentstehung und die zu verwendende Methode zur Bewertung mit einer Modellierungstechnik abgebildet sind. Für jedes Bewertungselement ist das verantwortliche Entwicklerteam definiert. Eine nachhaltige und durchgängige Dokumentation der Bewertung wird durch eine einheitliche Wissensquelle und ein gemeinsames Wissensmanagementsystem vorgegeben.

Der Neuentwicklungsanteil einer Variante ist unter anderem für die Entscheidung verantwortlich, ob die Variante in das Produktportfolio aufgenommen wird.

Abhängig vom eingeschätzten Neuentwicklungsanteil einer Variante und der damit verbundenen Einschätzung der Auswirkungen auf die Elemente des Referenzsystems der Variante ist der Bewertungsprozess variantenindividuell um variable Bewertungselemente erweiterbar. Die Bewertungen der ausgewählten Bewertungselemente gehen der Entscheidung voraus, ob die Variante in das Produktportfolio aufgenommen wird.

5.2 Methode zur Bewertung von Varianten

In Abbildung 5.5 ist das Vorgehen zur Entwicklung der Methode zur Bewertung dargestellt. In den Unterkapiteln sind die Analyse- und Syntheseaktivitäten beschrieben, die bei der Entwicklung durchgeführt wurden. Die Aktivitäten sind entsprechend in der Spalte Analyse oder in der Spalte Synthese aufgeführt. Für die Analyseaktivitäten wurden (teil-) standardisierte Interviews als Forschungsmethode ausgewählt. Die Syntheseaktivitäten stellen unter anderem die Konsolidierung der Ergebnisse aus den Interviews dar. Das Unterkapitel mit den Erkenntnissen ist grün hervorgehoben. Die Erkenntnisse resultieren aus der Interpretation der Ergebnisse aus der Entwicklung der Methode zur Bewertung (Synthese) (Kapitel 5.2.4). Die Methode zur Bewertung basiert in ihrem Grundgedanken auf einer mehrdimensionalen

¹⁷¹ vgl. Kap. 2.1.2.3: Definition Agilität auf Basis von ASD – Agile Systems Design

¹⁷² vgl. Kap. 2.3.2.3

Nutzwertanalyse¹⁷³, da mit dieser qualitativen Bewertungsmethode die Auswirkungen einer Variante auf die Elemente des Referenzsystems, die vor der ökonomischen Bewertung in der Angebotsphase nicht quantifiziert vorliegen¹⁷⁴, objektiviert werden.

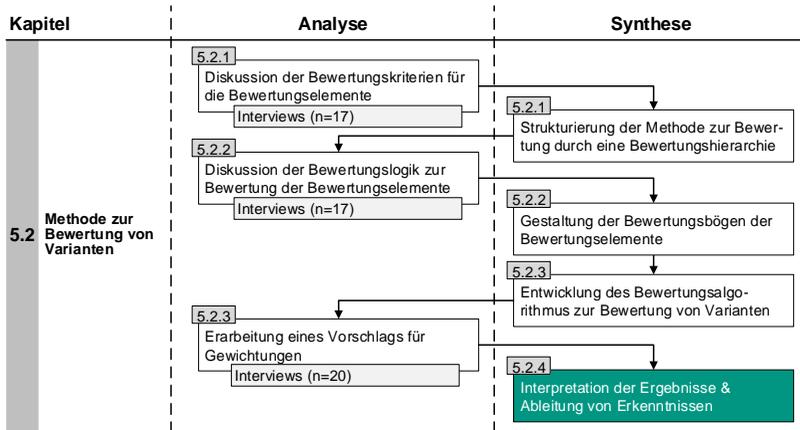


Abbildung 5.5: Vorgehen zur Entwicklung der Methode zur Bewertung

Um die subjektiven Bewertungen der Bewertungselemente durch die Entwickler-teams zu systematisieren, werden beruhend auf der Nutzwertanalyse die Bewertungen der Bewertungselemente als Teilprobleme der Gesamtbewertung verstanden. Mit Experten (n=17) wurden teilstandardisierte Interviews durchgeführt (Analyse) (Kapitel 5.2.1), in denen iterativ Bewertungskriterien zur Bewertung der Bewertungselemente diskutiert wurden. Diese Bewertungskriterien werden wiederum als Teilprobleme der Bewertungselemente verstanden. Die Bewertungselemente und die Bewertungskriterien sind Teil der Bewertungshierarchie, die zur Strukturierung der Methode zur Bewertung dient (Synthese) (Kapitel 5.2.1). Involviert waren Experte11, Experte13, Experte15, Experte16, Experte20, Experte22, Experte23, Ex-

¹⁷³ vgl. Kap. 2.3.3.3

¹⁷⁴ vgl. Kap. 2.3.1.1: Kennzeichen der frühen Phase der Produktentwicklung

perte²⁴, Experte²⁵, Experte³¹, Experte³², Experte³³, Experte³⁴, Experte³⁹, Experte⁴⁰, Experte⁴² und Experte⁴⁶.¹⁷⁵ In weiteren teilstandardisierten Interviews wurden mit den aufgezählten Experten (n=17) die Bewertungslogik der Nutzwertanalyse zur Bewertung der Bewertungselemente mit Hilfe der Bewertungskriterien diskutiert (Analyse) (Kapitel 5.2.2). Die Ergebnisse der Gespräche wurden bei der Gestaltung der Bewertungsbögen integriert, die die Entwicklerteams zur Bewertung der Bewertungselemente heranziehen (Synthese) (Kapitel 5.2.2). Die Nutzwertanalyse bietet keine Möglichkeit zur Berücksichtigung von dynamischen Änderungen in der Angebotsphase, weswegen bei der Entwicklung des Bewertungsalgorithmus das Maß an Flexibilität des Bewertungsprozesses berücksichtigt wurde (Synthese) (Kapitel 5.2.3). Mit dem Bewertungsalgorithmus werden die Bewertungen der Bewertungselemente mit Hilfe der Bewertungskriterien und identifizierter Gewichtungen zusammengeführt. Die Gewichtungen der Bewertungselemente und der Bewertungskriterien wurden mit Experten (n=20) der CP4 erarbeitet (Analyse) (Kapitel 5.2.3). Zu den Experten zählen die aufgelisteten Experten, wobei Experte⁴⁵, Experte⁴⁷, Experte²⁷ sowie Experte⁹ statt Experte²⁰ zusätzlich aufgenommen wurden. Im Rahmen des AHP¹⁷⁶ wird die Methode des paarweisen Vergleichs auf Basis einer Zielhierarchie von Entscheidungskriterien befürwortet, um die Gewichtungen zu bestimmen. In der vorliegenden Arbeit wird die Bewertungshierarchie mit den Bewertungskriterien als eine Form der Zielhierarchie verstanden, weswegen das Vorgehen zur Identifikation der Gewichtungen an das Vorgehen des AHP angelehnt ist. In standardisierten Interviews (n=20) haben die Experten jeweils einen paarweisen Vergleich durchgeführt und der Konsistenzcheck des AHP dient zur Überprüfung der Konsistenz der paarweisen Vergleiche.

5.2.1 Bewertungshierarchie zur Bewertung von Varianten

Die Bewertungshierarchie (Abbildung 5.6) dient der Strukturierung der Methode zur Bewertung von Varianten. Diese umfasst für jedes Bewertungselement Bewertungskriterien, die mit Hilfe von iterativen Interviews (n=17) diskutiert und kontinuierlich spezifiziert wurden. Für einheitliche Bewertungen der Bewertungselemente wurde das Ziel verfolgt, die gleiche Anzahl an Bewertungskriterien (j) für jedes Bewertungselement (i) zu identifizieren, mit denen möglichst derselbe Inhalt bewertet werden kann. Aus den Diskussionen geht hervor, dass die Bewertungskriterien des Bewertungselements *Produktstrategie* (i=1) nicht den Bewertungskriterien der vier weiteren Bewertungselemente entsprechen. Aufgrund dessen stellt der inhaltliche Aufbau des Bewertungselements *Produktstrategie* (i=1) eine Ausnahme dar. Ein

¹⁷⁵ vgl. Kap. 3.3.3: Involvierte Experten während des Forschungsprojekts

¹⁷⁶ vgl. Kap. 2.3.3.3

weiteres Ziel war es, ausreichend viele Bewertungskriterien für jedes Bewertungselement zu definieren, sodass eine fundierte Grundlage für die Entscheidung über die Einführung einer Variante geschaffen wird. Gleichzeitig sollte die Anzahl an Bewertungskriterien so klein wie möglich gehalten werden, um eine effiziente Bewertung zu gewährleisten.

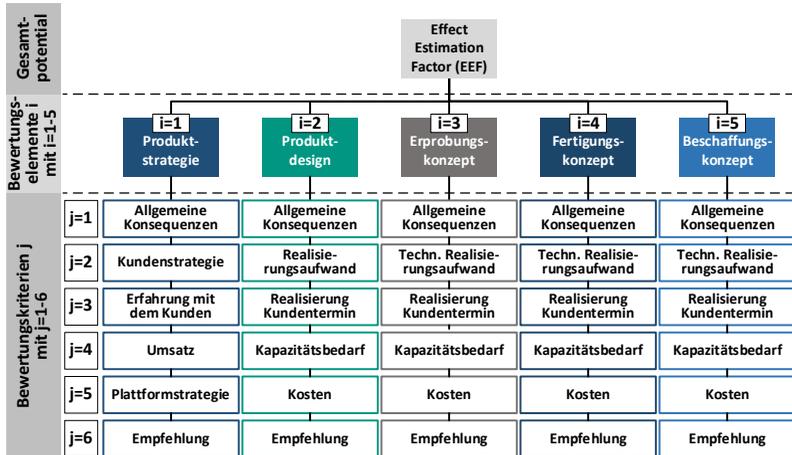


Abbildung 5.6: Bewertungshierarchie der Methode zur Bewertung (Albers, Rapp, Peglow et al., 2019)

Übergeordnet ist ein Faktor definiert, in dem die Bewertungen der Bewertungselemente mit Hilfe der dazugehörigen Bewertungskriterien – bewertet durch die Entwicklerteams¹⁷⁷ – aggregiert werden. Der Faktor gibt das Potential einer Variante hinsichtlich der zugrunde gelegten Elemente des Referenzsystems wieder. Mit diesem Faktor, der den Namen Effect Estimation Factor (EEF) (dt. Auswirkungenabschätzungsfaktor) erhalten hat, wird ein prozentualer Wert berechnet¹⁷⁸. Dieser Wert verdeutlicht die Auswirkungen auf die Elemente des Referenzsystems, die mit den Bewertungselementen adressiert sind. (Albers, Rapp, Peglow et al., 2019)

¹⁷⁷ vgl. Kap. 5.1.3

¹⁷⁸ vgl. Kap. 5.2.3: Erläuterungen zum Bewertungsalgorithmus

Insgesamt wurden 30 Bewertungskriterien definiert, wobei jedem Bewertungselement jeweils fünf Bewertungskriterien zugeordnet sind. Alle Bewertungselemente inkludieren das erste Bewertungskriterium mit der Abfrage nach den *Allgemeinen Konsequenzen* ($j=1$) und das letzte Bewertungskriterium, ob die Variante mit Hinblick auf das betrachtete Element des Referenzsystems zu *empfehlen* ist ($j=6$). Darüber hinaus haben die technischen Bewertungselemente *Produktdesign* ($i=2$), *Erprobungskonzept* ($i=3$), *Fertigungskonzept* ($i=4$) und *Beschaffungskonzept* ($i=5$) einen einheitlichen, inhaltlichen Aufbau bezüglich der restlichen vier Bewertungskriterien, wobei diese elementspezifisch ausgeprägt sind. Für das Bewertungselement *Produktdesign* ($i=2$) ist mit dem Bewertungskriterium *Realisierungsaufwand* ($j=2$) einzuschätzen, mit welchem Aufwand zur Realisierung der geforderten Produktgestalt und Produktfunktionen zu rechnen ist. Für die Bewertungselemente *Erprobungskonzept* ($i=3$), *Fertigungskonzept* ($i=4$) und *Beschaffungskonzept* ($j=5$) sind jeweils mit dem Bewertungskriterium *Technischer Realisierungsaufwand* ($j=2$) der Aufwand zur Realisierung der Variante mit der existierenden Prüf- und Messtechnik, den Fertigungsverfahren beim Anbieter und den Fertigungsverfahren beim Lieferanten zu bewerten. Das Bewertungskriterium *Realisierung Kundentermin* ($j=3$) dient der Abschätzung, inwieweit der Kundentermin seitens der Entwicklerteams eingehalten werden kann. Zudem prüfen die jeweiligen Entwicklerteams mit dem Bewertungskriterium *Kapazitätsbedarf* ($j=4$), inwiefern die vorhandenen Kapazitäten in der Produktentwicklung, der Validierung, der Fertigung und beim Einkauf zur Implementierung der Variante in der Serienfertigung ausreichen. Mit dem Bewertungskriterium *Kosten* ($j=5$) sind die Auswirkungen der Variante auf die Entwicklungs- und Erprobungskosten sowie hinsichtlich den Investitionen in der Eigen- und Fremdfertigung zu beurteilen. Der Aufbau des Bewertungselements *Produktstrategie* ($i=1$) weicht von dem der technischen Bewertungselemente ab. Mit dem Bewertungskriterium *Kundenstrategie* ($j=2$) ist zu klassifizieren, welche Bedeutung der Kunde der angefragten Variante für das Unternehmen hat. Basierend auf Erfahrungswerten wird mit Hilfe des Bewertungskriteriums *Erfahrung mit dem Kunden* ($j=3$) angegeben, wie genau die Kundenanforderungen an eine Variante in der Vergangenheit waren und wie häufig diese in der Angebotsphase geändert wurden. Mit dem Bewertungskriterium *Umsatz* ($j=4$) wird eine erste Einschätzung wiedergegeben, mit welchem Umsatz in der Zukunft zu rechnen ist. Die Bewertung mit Hilfe des Bewertungskriteriums *Plattformstrategie* ($j=5$) dient der Abschätzung des Aufwands, der durch die Implementierung der Variante hinsichtlich den bestehenden Plattformen entsteht. (Albers, Rapp, Peglow et al., 2019)

5.2.2 Bewertungsbögen der Bewertungselemente

Bewertungsbögen dienen als Grundlage für die Entwicklerteams zur Bewertung des jeweils zugeordneten Bewertungselements mit Hilfe der Bewertungskriterien. Zur Erarbeitung eines Bewertungsbogens wurden Experten der Entwicklerteams entsprechend des zugeordneten Bewertungselements ausgewählt, mit denen in teilstandardisierten Interviews (n=17) die Inhalte und die Bewertungslogik diskutiert wurden. Ziel war es, für die Bewertungselemente eine einheitliche Bewertungslogik und einen einheitlichen Aufbau der Bewertungsbögen zu realisieren.

Als Bewertungslogik wurde eine Bewertungsskala für die ersten fünf Bewertungskriterien ($j=1,2,3,4,5$) der Bewertungselemente ($i=1,2,3,4,5$) definiert. Die Bewertungsskala ist eine 4er-Ordinalskala (Bortz & Döring, 2006, S. 67) mit den Ausprägungen *sehr gering*, *gering*, *hoch* und *sehr hoch*. Die Experten haben eine ungerade Anzahl an Ausprägungen der Bewertungsskala (wie 3er- oder 5er-Ordinalskala) ausgeschlossen, sodass eine eindeutige positive oder negative Bewertung realisiert wird. Eine 6er-Ordinalskala wurde als nicht zweckdienlich erachtet, da dies eine Scheingenauigkeit zu dem Zeitpunkt der Bewertung postulieren würde. Für das Bewertungselement *Produktstrategie* ($i=1$) sind die Ausprägungen der Bewertungsskala für die ersten fünf Bewertungskriterien aufsteigend positiv skaliert. Das bedeutet, dass die Ausprägung *sehr gering* für den geringsten und die Ausprägung *sehr hoch* für den größten positiven Nutzen mit Hinblick auf die Produktstrategie stehen. Für die Bewertungselemente *Produktdesign* ($i=2$), *Erprobungskonzept* ($i=3$), *Fertigungskonzept* ($i=4$) und *Beschaffungskonzept* ($i=5$) sind die Ausprägungen der Bewertungsskala für die ersten fünf Bewertungskriterien aufsteigend negativ skaliert. Die Ausprägung *sehr gering* steht für die geringsten und die Ausprägung *sehr hoch* für die größten negativen Auswirkungen hinsichtlich des betrachteten Bewertungselements. Für die sechsten Bewertungskriterien ($j=6$) der Bewertungselemente ($i=1,2,3,4,5$) wurde eine binäre Abfrage mit den Ausprägungen *ja* und *nein* definiert. (Albers, Rapp, Peglow et al., 2019) Die Reihenfolge bei der Bewertung mit Hilfe der ersten fünf Bewertungskriterien ($j=1,2,3,4,5$) innerhalb eines Bewertungselements ist nicht vorgeschrieben. Das sechste Bewertungskriterium ($j=6$) eines Bewertungselements kann erst analysiert werden, wenn die Bewertung mit Hilfe der ersten fünf Bewertungskriterien vorliegt. (Albers, Peglow et al., 2019)

Bei den Diskussionen der Inhalte wurden für jedes Bewertungskriterium eine Fragestellung und Erklärungstexte für die Ausprägungen der Bewertungsskala erarbeitet. Aufgrund von unternehmensinternen Datenschutzrichtlinien sind aufgeführte Zahlenwerte generalisiert formuliert und dienen als Vorschlag für eine unternehmensspezifische Anpassung.

5.2.2.1 Bewertungsbogen des Bewertungselements Produktstrategie

Das Bewertungselement *Produktstrategie* (i=1) dient dazu die Konsistenz des Zielsystems der angefragten Variante hinsichtlich der Produktstrategie des Anbieters als Element des Referenzsystems zu bewerten. Der Bewertungsbogen enthält die Bewertungskriterien mit den dazugehörigen Fragestellungen und den Erklärungstexten für die Ausprägungen der Bewertungsskala (Tabelle 14).

Tabelle 14: Bewertungsbogen des Bewertungselements Produktstrategie

Produktstrategie (i=1)						
j	Frage	Bewertung				
1	Allgemeine Konsequenzen Wie ist das langfristige Potential der Variante am Markt (ggü. Wettbewerb) einzuschätzen?	Skala	sehr gering	gering	hoch	sehr hoch
		Erklärung	Kundenindividuelle Sonderlösung ohne Marktpotential	Verringern oder Schließen einer Marktlücke	Ähnliche Produkte sind beim Wettbewerber in Vorbereitung	Hohe Wettbewerbsfähigkeit mit Potential zur Produktdiversifikation
2	Kundenstrategie Wie ist die Relevanz des Kunden im Rahmen der Kundenstrategie einzuschätzen?	Skala	sehr gering	gering	hoch	sehr hoch
		Erklärung	Kunde mit sehr geringer Relevanz	Kunde mit geringer Relevanz	Kunde mit kommerziellem und technischem Potential	Strategischer Kunde
3	Erfahrung mit dem Kunden Wie sind die Erfahrungen mit dem Kunden hinsichtlich der Anforderungsdefinition einzuschätzen?	Skala	sehr gering	gering	hoch	sehr hoch
		Erklärung	Unkonkrete Kundenanforderungen mit häufigen Änderungen	Unkonkrete Kundenanforderungen mit wenigen Änderungen	Konkrete Kundenanforderungen mit wenigen Änderungen	Konkrete Kundenanforderungen mit wenigen/keinen Änderungen
4	Umsatz Wie ist der Gesamtumsatz der Variante über die nächsten 5 Jahre einzuschätzen?	Skala	sehr gering	gering	hoch	sehr hoch
		Erklärung	0 € - 50 Mio. €	50 Mio. € - 150 Mio. €	150 Mio. € - 250 Mio. €	≥ 250 Mio. €
5	Plattformstrategie Inwieweit ist die Variante mit der Plattformstrategie hinsichtlich des Produktportfolios und der Zeitplanung vereinbar?	Skala	sehr gering	gering	hoch	sehr hoch
		Erklärung	Nicht präferierte Integration, Plattform wird nicht präferiert	Aufwändige Integration, Plattform ist in Serienfertigung	Eher einfache Integration, Start der Plattformentwicklung ist erfolgt	Einfache Integration, Start der Plattformentwicklung ist nicht erfolgt
6	Empfehlung Ist die Variante zu empfehlen?	Skala	ja	nein		
		Erklärung				

Das Bewertungskriterium *Allgemeine Konsequenzen* (j=1) dient der Abfrage nach dem langfristigen Potential der Variante am Markt. Wenn es sich um eine kundenindividuelle Sonderlösung (Ausprägung: sehr gering) handelt, ist eine Skalierbarkeit des Produktdesigns der Variante auf weitere Varianten vergleichsweise schwer

möglich. Im Gegensatz dazu bietet ein Produktdesign mit hoher Wettbewerbsfähigkeit und mit Potential zur Produktdiversifikation (Ausprägung: sehr hoch) dem Anbieter die Chance, ein marktfähiges Alleinstellungsmerkmal zu generieren. Die Ausprägung *gering* steht für den Fall, dass mit der Variante eine Marktlücke verringert oder geschlossen werden kann. Mit der Ausprägung *hoch* ist der Fall repräsentiert, falls ähnliche Produkte derzeit von Wettbewerbern entwickelt werden. Mit dem Bewertungskriterium *Kundenstrategie* ($i=2$) wird der Kunde der angefragten Variante abhängig von seiner strategischen Bedeutung für das Unternehmen kategorisiert. Ein strategischer Kunde (Ausprägung: sehr hoch) weist eine hohe Relevanz für das Unternehmen auf und seine Anforderungen sind präferiert zu behandeln. Des Weiteren ist beispielsweise zwischen einem Kunden mit kommerziellem und technischem Potential (Ausprägung: hoch) und einem Kunden mit geringer Relevanz (Ausprägung: gering) zu unterscheiden. Sofern es sich um einen Kunden mit sehr geringer Relevanz handelt, ist die Ausprägung *sehr gering* zutreffend. Mit dem Bewertungskriterium *Erfahrungen mit dem Kunden* ($i=3$) ist einzuschätzen, wie häufig sich die Anforderungen an eine Variante während der Angebotsphase ändern. Infolge weniger Änderungen ist von wenigen Iterationen in der Angebotsphase auszugehen. Die Ausprägungen sind wie folgt: unkonkrete Anforderungen mit häufigen Änderungen (Ausprägung: sehr gering), unkonkrete Anforderungen mit wenigen Änderungen (Ausprägung: gering), konkrete Anforderungen mit wenigen Änderungen (Ausprägung: hoch), konkrete Anforderungen mit keinen Änderungen (Ausprägung: sehr hoch). Die Ausprägungen für das Bewertungskriterium *Umsatz* ($i=4$) geben eine erste Einschätzung wieder, mit welchem Umsatz über die nächsten fünf Jahre für die Variante zu rechnen ist. Mit dem Bewertungskriterium *Plattformstrategie* ($i=5$) ist zu prüfen, inwieweit das Produktdesign der Variante konsistent zur Plattformstrategie ist und mit der Zeitplanung der Plattformentwicklung übereinstimmt. Hat die Plattformentwicklung noch nicht gestartet, ist eine einfache Integration der Variante in das Produktportfolio möglich (Ausprägung: sehr hoch). Im Vergleich dazu ist die Integration eher einfach, wenn der Start der Plattformentwicklung bereits erfolgt ist (Ausprägung: hoch). Die Integration ist aufwändig, wenn die Plattform in der Serienfertigung implementiert ist (Ausprägung: gering). Existiert für die Variante keine Plattform, wird die Integration eher weniger präferiert (Ausprägung: sehr gering). Die Variante ist mit dem Bewertungskriterium *Empfehlung* ($j=6$) aus Sicht des Produktmanagements zu empfehlen (ja) oder nicht (nein).

5.2.2.2 Bewertungsbogen des Bewertungselements Produktdesign

Das Bewertungselement *Produktdesign* ($i=2$) dient dazu die Konsistenz des Zielsystems der angefragten Variante hinsichtlich des Produktdesigns des Anbieters als Element des Referenzsystems zu bewerten. Der Bewertungsbogen enthält die Bewertungskriterien mit den dazugehörigen Fragestellungen und den Erklärungstexten für die Ausprägungen der Bewertungsskala (Tabelle 15).

Tabelle 15: Bewertungsbogen des Bewertungselements Produktdesign

Produktdesign (i=2)							
j	Frage		Bewertung				
1	Allgemeine Konsequenzen	Wie viele Bauteile sind betroffen?	Skala	sehr gering	gering	hoch	sehr hoch
			Erklärung	0 - 1	2 - 3 Bauteile	4 - 5 Bauteile	≥ 6 Bauteile
2	Realisierungsaufwand	Wie ist der Entwicklungsaufwand zur Realisierung der betroffenen Bauteile als Zusatz zur Plattform einzuschätzen?	Skala	sehr gering	gering	hoch	sehr hoch
			Erklärung	0,5 - 1 Mannjahre	1 - 5 Mannjahre	5 - 10 Mannjahre	≥ 10 Mannjahre
3	Realisierung Kundentermin	Wie ist der Aufwand zur Realisierung des Kundentermins einzuschätzen?	Skala	sehr gering	gering	hoch	sehr hoch
			Erklärung	Kundentermin ist realisierbar	Kundentermin ist realisierbar mit Umpriorisierung von Projekten	Kundentermin ist realisierbar mit Auflagen	Kundentermin ist nicht realisierbar
4	Kapazitätsbedarf	Wie ist der Kapazitätsbedarf bei der Entwicklung unter den geforderten Randbedingungen (Stückzahl, Kundentermin) einzuschätzen?	Skala	sehr gering	gering	hoch	sehr hoch
			Erklärung	Mit aktueller personeller Kapazität realisierbar	Mit aktueller personeller Kapazität realisierbar durch Umriorisierung von Projekten	Mit zeitlich begrenztem Mehraufwand der Mitarbeiter realisierbar	Mit aktueller personeller Kapazität nicht realisierbar, neue Mitarbeiter sind erforderlich
5	Kosten	Wie sind die Entwicklungskosten zur Realisierung der Variante einzuschätzen?	Skala	sehr gering	gering	hoch	sehr hoch
			Erklärung	0 - 100.000 €	100.000 € - 1 Mio. €	1.Mio. € - 2,5 Mio. €	≥ 2,5 Mio. €
6	Empfehlung	Ist die Variante zu empfehlen?	Skala	ja	nein		
			Erklärung				

Die Bewertungskriterien *Allgemeine Konsequenzen* (j=1), *Realisierungsaufwand* (j=2) und *Kosten* (j=5) haben zahlenbasierte Klasseneinteilungen als Erklärungstexte. Für das Bewertungskriterium *Allgemeine Konsequenzen* (j=1) ist die Anzahl der betroffenen Bauteile aufsummiert. Das Bewertungskriterium *Realisierungsaufwand* (j=2) ist durch den Entwicklungsaufwand zur Realisierung des Produktdesigns als Zusatz zur Plattform und das Bewertungskriterium *Kosten* (j=5) ist durch die Entwicklungskosten beschrieben. Mit dem Bewertungskriterium *Realisierung Kundentermin* (j=3) ist der Aufwand zur Realisierung des Kundentermins einzuschätzen. Ist der Kundentermin nicht realisierbar, ist die Ausprägung *sehr hoch* zu wählen. Im Gegensatz dazu ist die Ausprägung *sehr gering* zu wählen, wenn der Kundentermin uneingeschränkt realisierbar ist. Zudem wird unterschieden zwischen einem realisierbaren Kundentermin, bei dem andere Projekte umzupriorisieren sind

(Ausprägung: gering) und einem Kundentermin, der nur realisierbar ist, wenn dieser mit Auflagen (wie reduzierte Abnahmekriterien bei Meilensteinen) verbunden ist (Ausprägung: hoch). In Bezug auf das Bewertungskriterium *Kapazitätsbedarf* (i=4) gibt das Entwicklerteam eine Schätzung ab, ob seitens der Entwicklung Kapazitätsbedarf besteht. Sofern die Variante mit aktueller personeller Kapazität realisierbar ist oder gegebenenfalls andere Projekte umpriorisiert werden müssen, ist die Ausprägung *sehr gering* oder die Ausprägung *gering* heranzuziehen. Wenn die Realisierung der Variante nur gelingt, wenn Mitarbeiter für eine bestimmte zeitliche Dauer Mehrarbeit leisten, dann gilt die Ausprägung *hoch*. Im Falle, dass die personelle Kapazität nicht ausreicht und neue Mitarbeiter erforderlich sind, bedeutet dies eine sehr hohe negative Auswirkung (Ausprägung: sehr hoch). Aus Sicht der Entwicklung ist mit dem Bewertungskriterium *Empfehlung* (i=6) die Variante zu empfehlen (ja) oder nicht zu empfehlen (nein).

5.2.2.3 Bewertungsbogen des Bewertungselements Erprobungskonzept

Das Bewertungselement *Erprobungskonzept* (i=3) dient dazu die Konsistenz des Zielsystems der angefragten Variante hinsichtlich des Erprobungskonzepts des Anbieters als Element des Referenzsystems zu bewerten. Der Bewertungsbogen enthält die Bewertungskriterien mit den dazugehörigen Fragestellungen und den Erklärungstexten für die Ausprägungen der Bewertungsskala (Tabelle 16).

Das Bewertungskriterium *Allgemeine Konsequenzen* (i=1) steht für den Aufwand zur Realisierung der Variante mit der Plattformerprobung. Die Plattformerprobung beinhaltet in diesem Kontext die Erprobungsaktivitäten, die mit der Entwicklung der Plattform definiert sind. Wenn die Variante mit der Plattformerprobung realisiert werden kann oder ein geringer beziehungsweise hoher Anpassungsaufwand notwendig ist, dann ist der Aufwand entsprechend mit den Ausprägungen *sehr gering*, *gering* oder *hoch* einzustufen. Sofern eine neue Plattformerprobung notwendig ist, ist die Ausprägung *sehr hoch* zu wählen. Mit dem Bewertungskriterium *Technischer Realisierungsaufwand* (i=2) sollen die Auswirkungen auf die Prüf- und Messtechnik bewertet werden. Bei einer uneingeschränkten Realisierung mit der vorhandenen Prüf- und Messtechnik ist der Aufwand mit der Ausprägung *sehr gering* zu bewerten. Sofern ein geringer oder hoher Anpassungsaufwand notwendig oder die notwendige Prüf- und Messtechnik nicht bekannt ist, ist die Ausprägung *gering*, *hoch* oder *sehr hoch* zu wählen. Aus Sicht der Validierung wird mit dem Bewertungskriterium *Realisierung Kundentermin* (i=3) eingeschätzt, inwiefern der Kundentermin realisierbar ist. Zu unterscheiden ist zwischen einem realisierbaren (Ausprägung: sehr gering) und einem nicht realisierbaren (Ausprägung: sehr hoch) Kundentermin. Zudem ist zu differenzieren, ob der Kundentermin mit Umpriorisierung anderer Projekte (Ausprägung: gering) oder mit Auflagen (wie reduzierte Abnahmekriterien bei Meilenstei-

nen) (Ausprägung: hoch) realisierbar ist. Die Bedarfsidentifikation bei der Validierung hinsichtlich personeller Kapazitäten erfolgt durch das Bewertungskriterium *Kapazitätsbedarf* (i=4). Reicht die personelle Kapazität vollumfänglich oder durch Umpriorisierung von Projekten aus, dann treffen die Ausprägungen *sehr gering* oder *gering* zu. Sofern das Projekt nur gelingt, wenn die Mitarbeiter über eine zeitlich begrenzte Dauer unter Mehraufwand arbeiten oder wenn sogar neue Mitarbeiter erforderlich sind, treffen die Ausprägungen *hoch* oder *sehr hoch* zu. Mit dem Bewertungskriterium *Kosten* (i=5) sind die Kosten für Erprobungsaktivitäten durch eine erste monetäre Klassifizierung einzuschätzen. Das Bewertungskriterium *Empfehlung* (i=6) dient der binären Abfrage, ob aus Sicht der Validierung die Variante zu empfehlen (ja) oder nicht zu empfehlen ist (nein).

Tabelle 16: Bewertungsbogen des Bewertungselements Erprobungskonzept

Erprobungskonzept (i=3)							
j	Frage		Bewertung				
1	Allgemeine Konsequenzen	Wie ist der Aufwand zur Realisierung der Variante hinsichtlich der Plattform-erprobung einzuschätzen?	Skala	sehr gering	gering	hoch	sehr hoch
		Erklärung	Mit Plattformerprobung realisierbar	Mit Plattformerprobung durch geringen Anpassungsaufwand realisierbar	Mit Plattformerprobung durch hohen Anpassungsaufwand realisierbar	Neue Plattformerprobung ist erforderlich	
2	Techn. Realisierungsaufwand	Wie ist der Aufwand zur technischen Realisierung der Variante mit der Prüf- und Messtechnik einzuschätzen?	Skala	sehr gering	gering	hoch	sehr hoch
		Erklärung	Mit Prüf- und Messtechnik realisierbar	Mit Prüf- und Messtechnik durch geringen Anpassungsaufwand realisierbar	Mit Prüf- und Messtechnik durch hohen Anpassungsaufwand realisierbar	Prüf- und Messtechnik sind nicht bekannt	
3	Realisierung Kundentermin	Wie ist der Aufwand zur Realisierung des Kundentermins einzuschätzen?	Skala	sehr gering	gering	hoch	sehr hoch
		Erklärung	Kundentermin ist realisierbar	Kundentermin ist realisierbar mit Umpriorisierung von Projekten	Kundentermin ist realisierbar mit Auflagen	Kundentermin ist nicht realisierbar	
4	Kapazitätsbedarf	Wie ist der Kapazitätsbedarf bei der Erprobung unter den geforderten Randbedingungen (Stückzahl, Kundentermin) einzuschätzen?	Skala	sehr gering	gering	hoch	sehr hoch
		Erklärung	Mit aktueller personeller Kapazität realisierbar	Mit aktueller personeller Kapazität realisierbar durch Umpriorisierung von Projekten	Mit zeitlich begrenztem Mehraufwand der Mitarbeiter realisierbar	Mit aktueller personeller Kapazität nicht realisierbar, neue Mitarbeiter sind erforderlich	
5	Kosten	Wie sind die Kosten in der Erprobung zur Realisierung der Variante einzuschätzen?	Skala	sehr gering	gering	hoch	sehr hoch
		Erklärung	0 € - 50.000 €	50.000 € - 150.000 €	150.000 € - 250.000 €	≥ 250.000 €	
6	Empfehlung	Ist die Variante zu empfehlen?	Skala	ja	nein		
			Erklärung				

5.2.2.4 Bewertungsbogen des Bewertungselements Fertigungskonzept

Das Bewertungselement *Fertigungskonzept* ($i=4$) dient dazu die Konsistenz des Zielsystems der angefragten Variante hinsichtlich des Fertigungskonzepts des Anbieters als Element des Referenzsystems zu bewerten. Der Bewertungsbogen enthält die Bewertungskriterien mit den dazugehörigen Fragestellungen und den Erklärungstexten für die Ausprägungen der Bewertungsskala (Tabelle 17).

Tabelle 17: Bewertungsbogen des Bewertungselements Fertigungskonzept

Fertigungskonzept ($i=4$)						
j	Frage	Bewertung				
1	Allgemeine Konsequenzen Wie ist der organisatorische Aufwand für die betroffenen Fertigungswerke des Produktionsnetzwerks einzuschätzen?	Skala	sehr gering	gering	hoch	sehr hoch
		Erklärung	Sehr geringer organisatorischer Aufwand für die Fertigungswerke	Geringer organisatorischer Aufwand für die Fertigungswerke	Hoher organisatorischer Aufwand für die Fertigungswerke	Sehr hoher organisatorischer Aufwand für die Fertigungswerke
2	Techn. Realisierungsaufwand Wie ist der Aufwand zur technischen Realisierung der Variante mit den Fertigungsverfahren und -prozessen einzuschätzen?	Skala	sehr gering	gering	hoch	sehr hoch
		Erklärung	Mit Fertigungsverfahren und -prozesse realisierbar	Mit Fertigungsverfahren und -prozesse durch geringen Anpassungsaufwand realisierbar	Mit Fertigungsverfahren und -prozesse durch hohen Anpassungsaufwand realisierbar	Fertigungsverfahren und -prozesse sind nicht bekannt
3	Realisierung Kundentermin Wie ist der Aufwand zur Realisierung des Kundentermins einzuschätzen?	Skala	sehr gering	gering	hoch	sehr hoch
		Erklärung	Kundentermin ist realisierbar	Kundentermin ist realisierbar mit Umpriorisierung von Projekten	Kundentermin ist realisierbar mit Auflagen	Kundentermin ist nicht realisierbar
4	Kapazitätsbedarf Wie ist der Kapazitätsbedarf bei der Fertigung unter den geforderten Randbedingungen (Stückzahl, Kundentermin) einzuschätzen?	Skala	sehr gering	gering	hoch	sehr hoch
		Erklärung	Mit aktueller personeller Kapazität realisierbar	Mit aktueller personeller Kapazität realisierbar durch Umriorisierung von Projekten	Mit zeitlich begrenztem Mehraufwand der Mitarbeiter realisierbar	Mit aktueller personeller Kapazität nicht realisierbar, neue Mitarbeiter sind erforderlich
5	Kosten Wie sind die Investitionen in der Fertigung zur Realisierung der Variante einzuschätzen?	Skala	sehr gering	gering	hoch	sehr hoch
		Erklärung	0 € - 100.000 €	100.000 € - 0,5 Mio. €	0,5 Mio. € - 2,5 Mio. €	≥ 2,5 Mio. €
6	Empfehlung Ist die Variante zu empfehlen?	Skala	ja	nein		
		Erklärung				

Das Bewertungskriterium *Allgemeine Konsequenzen* ($i=1$) dient dazu die organisatorischen Auswirkungen auf die betroffenen Fertigungswerke des Produktionsnetzwerks einzuschätzen. Die Ausprägungen reichen von sehr geringem (Ausprägung: sehr gering) über geringem (Ausprägung: gering) und hohem (Ausprägung: hoch)

bis hin zu sehr hohem (Ausprägung: sehr hoch) organisatorischem Aufwand. Existiert nur ein Fertigungswerk sind die Fragestellung und die Erklärungstexte kontextspezifisch anzupassen. Die Auswirkungen auf die bestehenden Fertigungsverfahren und -prozesse in der Fertigung und in der Montage des Anbieters sind mit dem Bewertungskriterium *Technischer Realisierungsaufwand* (i=2) zu identifizieren. Wenn die bestehenden Fertigungsverfahren und -prozesse uneingeschränkt verwendet werden können, dann trifft die Ausprägung *sehr gering* zu. Wenn diese angepasst werden müssen, ist zwischen einem geringen (Ausprägung: gering) und einem hohen (Ausprägung: hoch) Anpassungsaufwand zu unterscheiden. Sofern die Fertigungsverfahren und / oder die Fertigungsprozesse beim Anbieter nicht bekannt sind, ist mit einem sehr hohen (Ausprägung: sehr hoch) Aufwand zu rechnen. Mit dem Bewertungskriterium *Realisierung Kundentermin* (i=3) ist das Entwicklerteam aufgefordert den Kundentermin als realisierbar (Ausprägung: sehr gering) oder als nicht realisierbar (Ausprägung: sehr hoch) einzustufen. Zudem hat das Entwicklerteam die Möglichkeit die Ausprägungen *gering* und *hoch* zu wählen, wenn der Kundentermin nur mit Umpriorisierung anderer Projekten oder mit Auflagen (wie reduzierte Abnahmekriterien bei Meilensteinen) möglich ist. Der Kapazitätsbedarf in der Fertigung ist mit dem Bewertungskriterium *Kapazitätsbedarf* (i=4) zu bewerten. Ist die personelle Kapazität ausreichend, trifft die Ausprägung *sehr gering* zu. Sofern andere Projekte umzupriorisieren sind, trifft die Ausprägung *gering* zu. Wenn das Projekt nur unter zeitlich begrenzter Mehrarbeit der Mitarbeiter gelingt, trifft die Ausprägung *hoch* zu. Sind neue Mitarbeiter zur Realisierung der Variante erforderlich, trifft die Ausprägung *sehr hoch* zu. Die Investitionen in der Fertigung sind mit dem Bewertungskriterium *Kosten* (i=5) zu überprüfen. Eine erste monetäre Einschätzung erfolgt mit Hilfe von Klasseneinteilungen. Mit dem Bewertungskriterium *Empfehlung* (i=6) wird abgefragt, ob die Variante aus Sicht der Fertigung zu empfehlen (ja) oder nicht empfehlen ist (nein).

5.2.2.5 Bewertungsbogen des Bewertungselements Beschaffungskonzept

Das Bewertungselement *Beschaffungskonzept* (i=4) dient dazu die Konsistenz des Zielsystems der angefragten Variante hinsichtlich des Beschaffungskonzepts des Anbieters als Element des Referenzsystems zu bewerten. Der Bewertungsbogen enthält die Bewertungskriterien mit den dazugehörigen Fragestellungen und den Erklärungstexten für die Ausprägungen der Bewertungsskala (Tabelle 20).

Tabelle 18: Bewertungsbogen des Bewertungselements Beschaffungskonzept

Beschaffungskonzept (i=5)							
j	Frage		Bewertung				
1	Allgemeine Konsequenzen	Wie ist der Aufwand zur Realisierung der Variante im Rahmen der Lieferantenstrategie einzuschätzen?	Skala	sehr gering	gering	hoch	sehr hoch
			Erklärung	Lieferant ist geeignet, wird präferiert	Lieferant ist geeignet, wird weniger stark präferiert	Lieferant ist weniger geeignet	Lieferant ist nicht geeignet
2	Techn. Realisierungsaufwand	Wie ist der Aufwand zur technischen Realisierung der Variante mit den Fertigungsverfahren und -prozessen beim Zulieferer einzuschätzen?	Skala	sehr gering	gering	hoch	sehr hoch
			Erklärung	Mit Fertigungsverfahren und -prozesse beim Lieferanten realisierbar	Mit Fertigungsverfahren und -prozesse beim Lieferanten durch geringen Anpassungsaufwand realisierbar	Mit Fertigungsverfahren und -prozesse beim Lieferanten durch hohen Anpassungsaufwand realisierbar	Fertigungsverfahren und -prozesse sind beim Lieferanten nicht bekannt
3	Realisierung Kundentermin	Wie ist der Aufwand zur Realisierung des Kundentermins einzuschätzen?	Skala	sehr gering	gering	hoch	sehr hoch
			Erklärung	Kundentermin ist realisierbar	Kundentermin ist realisierbar mit Umpriorisierung von Projekten	Kundentermin ist realisierbar mit Auflagen	Kundentermin ist nicht realisierbar
4	Kapazitätsbedarf	Wie ist der Kapazitätsbedarf beim Einkauf unter den geforderten Randbedingungen (Stückzahl, Kundentermin) einzuschätzen?	Skala	sehr gering	gering	hoch	sehr hoch
			Erklärung	Mit aktueller personeller Kapazität realisierbar	Mit aktueller personeller Kapazität realisierbar durch Umriorisierung von Projekten	Mit zeitlich begrenztem Mehraufwand der Mitarbeiter realisierbar	Mit aktueller personeller Kapazität nicht realisierbar, neue Mitarbeiter sind erforderlich
5	Kosten	Wie sind die Kosten beim Einkauf zur Realisierung der Variante einzuschätzen?	Skala	sehr gering	gering	hoch	sehr hoch
			Erklärung	0 € - 10.000 €	10.000 € - 50.000 €	50.000 € - 1 Mio. €	≥ 1 Mio. €
6	Empfehlung	Ist die Variante zu empfehlen?	Skala	ja	nein		
			Erklärung				

Dem Bewertungskriterium *Allgemeine Konsequenzen* (i=1) liegt die Abfrage nach dem Aufwand hinsichtlich der Lieferantenstrategie zugrunde. Ist der Lieferant geeignet, trifft die Ausprägung *sehr gering* zu. Ist der Lieferant zwar geeignet, wird aber weniger stark präferiert, ist die Ausprägung *gering* die passende Antwort. Wenn der Lieferant für nicht beziehungsweise weniger geeignet ist, ist die Ausprägung *sehr hoch* beziehungsweise die Ausprägung *hoch* zu wählen. Der Einfluss einer angefragten Variante auf die bestehenden Fertigungsverfahren und -prozesse in der Fertigung und in der Montage beim Lieferanten ist mit dem Bewertungskriterium *Technischer Realisierungsaufwand* (i=2) zu bestimmen. Die Ausprägungen der Bewertungsskala umfassen zum einen die uneingeschränkte Realisierbarkeit (Ausprägung: *sehr gering*) mit den Fertigungsverfahren und -prozesse beim Lieferanten

und die Realisierbarkeit mit geringem (Ausprägung: gering) sowie hohem (Ausprägung: hoch) Anpassungsaufwand. Zum anderen ist die Ausprägung *sehr hoch* definiert, wenn der Lieferant keine Kompetenzen über die erforderlichen Fertigungsverfahren und -prozesse aufweist. Der Aufwand zur Realisierung des Kundentermins ist mit dem Bewertungskriterium *Realisierung Kundentermin* ($i=3$) einzuschätzen. Die Bewertungsskala ist klassifiziert mit einem realisierbaren Kundentermin (Ausprägung: sehr gering), einem realisierbaren Kundentermin mit Umpriorisierung anderer Projekte (Ausprägung: gering) und mit verbundenen Auflagen (wie reduzierte Abnahmekriterien bei Meilensteinen) (Ausprägung: hoch). Bei einem nicht realisierbaren Kundentermin ist die Ausprägung *sehr hoch* zu wählen. Das Bewertungskriterium *Kapazitätsbedarf* ($i=4$) dient der Bewertung des Bedarfs an personeller Kapazität beim Einkauf. Die Ausprägung *sehr gering* steht für die Realisierbarkeit mit der aktuellen personellen Kapazität. Im Gegensatz dazu bedeutet die Ausprägung *gering*, dass andere Projekte umzupriorisieren sind. Gelingt das Projekt nur, wenn die Mitarbeiter für eine definierte Zeit unter Mehrarbeit arbeiten, dann trifft die Ausprägung *hoch* zu. Im Falle, dass neue Mitarbeiter erforderlich sind, trifft die Ausprägung *sehr hoch* zu. Das Bewertungskriterium *Kosten* ($i=5$) steht für die mit den Zukaufteilen verbundenen Kosten beim Einkauf. Die Auswahl mit Hilfe der Klasseneinteilungen ermöglicht eine erste Einschätzung der monetären Auswirkungen auf das Beschaffungskonzept. Mit dem Bewertungskriterium *Empfehlung* ($i=6$) kann der Experte des Einkaufs die Variante empfehlen (ja) oder nicht (nein).

5.2.3 Bewertungsalgorithmus zur Bewertung von Varianten

Im Folgenden ist der Bewertungsalgorithmus (Kapitel 5.2.3.1) zur Berechnung des EEF¹⁷⁹ beschrieben. Bei der Berechnung des EEF werden neben den Bewertungen durch die Entwicklerteams mit Hilfe der Bewertungskriterien, auch die Gewichtungen der Bewertungselemente und der -kriterien berücksichtigt. Für diese Gewichtungen wurde ein Vorschlag erarbeitet (Kapitel 5.2.3.2), der als Grundlage für eine unternehmensspezifische Anpassung herangezogen werden kann.

5.2.3.1 Der Effect Estimation Factor (EEF)

Die Bewertungen mit Hilfe der Bewertungskriterien werden durch den Bewertungsalgorithmus aggregiert. Der EEF ist der resultierende Faktor (Gleichung 1), der das Potential einer Variante für die Organisation bezüglich der Bewertungselemente widerspiegelt.

¹⁷⁹ vgl. Kap. 5.2.1: Erläuterung zur Namensgebung des EEF

$$EEF = \left(1 - \left(\frac{a_1 x_1 (\sum_{j=1}^5 c_{1j} e'_{1j}) + \sum_{i=2}^5 a_i x_i (\sum_{j=1}^5 c_{ij} e_{ij})}{3 \sum_{i=1}^5 a_i x_i} \left(1 - \sum_{i=1}^5 a_i x_i (1 - r_i) \right) + \sum_{i=1}^5 a_i x_i (1 - r_i) \right) \right) \cdot 100\% \quad 1$$

Ein berechneter EEF kann auf der Ergebnisskala zwischen 0% und 100% liegen, wobei 0% für das minimal und 100% für das maximal erreichbare Potential einer Variante steht. (Albers, Rapp, Peglow et al., 2019) Die Ausprägungen der Bewertungsskala für die ersten fünf Bewertungskriterien (j=1,2,3,4,5) und die binäre Abfrage für die sechsten Bewertungskriterien (j=6) der Bewertungselemente repräsentieren Zahlenwerte, die in die Berechnung des EEF eingehen. Mit den Bewertungskriterien *Empfehlung* (j=6) (engl. *recommendation*) empfehlen die Entwicklerteams die Variante ($r_i=1$) oder nicht ($r_i=0$). Die ersten fünf Bewertungskriterien (j=1,2,3,4,5) werden auf der Bewertungsskala¹⁸⁰ bewertet. Aufgrund der aufsteigend positiven Skalierung für das Bewertungselement *Produktstrategie* (i=1) und der aufsteigend negativen Skalierung für die technischen Bewertungselemente (i=2,3,4,5) sind die Bewertungen der Bewertungskriterien (engl. *evaluation*) differenziert zu handhaben (e'_{1j} für i=1 und e_{ij} für i=2,3,4,5). Für das Bewertungselement *Produktstrategie* (i=1) steht die Ausprägung *sehr gering* für den Wert $e'_{1j}=3$, die Ausprägung *gering* für den Wert $e'_{1j}=2$, die Ausprägung *hoch* für den Wert $e'_{1j}=1$ und die Ausprägung *sehr hoch* für den Wert $e'_{1j}=0$. Für die technischen Bewertungselemente (i=2,3,4,5) entspricht die Ausprägung *sehr gering* dem Wert $e_{ij}=0$, die Ausprägung *gering* dem Wert $e_{ij}=1$, die Ausprägung *hoch* dem Wert $e_{ij}=2$ und die Ausprägung *sehr hoch* dem Wert $e_{ij}=3$. Die Bewertungen der Bewertungselemente (i=1,2,3,4,5), die in Form von Aktivitätenmuster (engl. *activity pattern*) im Bewertungsprozess modelliert sind¹⁸¹, und die ersten fünf Bewertungskriterien (j=1,2,3,4,5) (engl. *evaluation criteria*) der Bewertungselemente haben unterschiedliche Priorisierungen für das Unternehmen. Die Bewertungselemente fließen mit einer Gewichtung (a_i) in die Berechnung des EEF ein. Die Summe der a_i (für i=1,2,3,4,5) muss 100% ergeben. Die ersten fünf Bewertungskriterien gehen ebenfalls mit einer Gewichtung (c_{ij} für i=1,2,3,4,5, j=1,2,3,4,5) in die Berechnung des EEF ein. Für jedes Bewertungselement i muss die Summe der c_{ij} für j=1,2,3,4,5 100% ergeben. Des Weiteren ist eine

¹⁸⁰ vgl. Kap. 5.2.2: Erläuterung zur definierten Bewertungsskala in Form einer 4er-Ordinalskala

¹⁸¹ vgl. Kap. 5.1

binäre Hilfsvariable x_i (für $i=1,2,3,4,5$) definiert, die verdeutlicht, ob ein Bewertungselement ausgewählt ist ($x_i=1$) oder nicht ($x_i=0$). Da die Bewertungselemente *Produktstrategie* ($i=1$) und *Produktdesign* ($i=2$) als statisch deklariert sind, gilt $x_1=x_2=1$.

Entsprechend einer multidimensionalen Nutzwertanalyse¹⁸² resultieren auf der Ebene der Bewertungshierarchie *Bewertungskriterien* durch Multiplikation der Bewertungen (e'_{ij} bzw. e_{ij}) mit den entsprechenden Gewichtungen (c_{ij}) und anschließender Summation der Faktoren (für $j=1,2,3,4,5$) für jedes Bewertungselement eine Summe. Zur Berücksichtigung der Individualität des Bewertungsprozesses und der Dynamik in der Angebotsphase¹⁸³ werden auf der Ebene der Bewertungshierarchie *Bewertungselemente* diese Summen der Bewertungselemente ebenfalls mit den entsprechenden Gewichtungen (a_i) sowie den binären Hilfsvariablen (x_i) multipliziert und die daraus hervorgehenden Faktoren (für $i=1,2,3,4,5$) zu einer Gesamtsumme aufsummiert. Um den Bewertungskriterien *Empfehlung* ($j=6$) (für $i=1,2,3,4,5$) eine verstärkte Bedeutung zukommen zu lassen, fließen diese bei der EEF Berechnung gesondert ein. Wenn aus Sicht eines Entwicklerteams die Variante nicht empfohlen wird ($r_i=0$), ist vorgesehen, dass die Ergebnisskala des EEF von 0% bis 100% um die Gewichtung (a_i) des korrespondierenden Bewertungselements reduziert wird. Sowohl eine Anpassung der Ergebnisskala als auch die variantenindividuelle Auswahl der Bewertungselemente (x_i für $i=1,2,3,4,5$) führen zu einer entsprechend angeglichenen Gesamtsumme auf der Ebene der Bewertungshierarchie *Bewertungselemente*.

Zusätzlich zu der Aggregation der Bewertungen der Bewertungselemente in einem Faktor wurden elementspezifische, relative Faktoren (EEF_i) entwickelt, die das Potential einer betrachteten Variante jeweils für ein Bewertungselement (i) widerspiegeln (Gleichung 2).

$$\text{EEF}_i = \begin{cases} \text{nicht existent} & , \text{für } x_i = 0 \\ \left(1 - \left(\frac{\sum_{j=1}^5 c_{4j} e'_{4j}}{3} (1 - a_1(1 - r_1)) \right) + a_1(1 - r_1) \right) \cdot 100\% & , \text{für } x_1 = 1 \\ \left(1 - \left(\frac{\sum_{j=1}^5 c_{ij} e_{ij}}{3} (1 - a_i(1 - r_i)) \right) + a_i(1 - r_i) \right) \cdot 100\% & , \text{für } x_i = 1 \text{ mit } i = 2,3,4,5 \end{cases} \quad 2$$

¹⁸² vgl. Kap. 2.3.3.3

¹⁸³ vgl. Kap. 5.1.4

Ein EEF_i kann – analog zum EEF – auf der Ergebnisskala zwischen 0% und 100% liegen. $EEF_i=0\%$ verdeutlicht das minimal und $EEF_i=100\%$ das maximal erreichbare Potential mit Fokus auf das Bewertungselement i . Ist ein Bewertungselement i nicht aktiviert ($x_i=0$), dann existiert kein EEF_i . Aufgrund der unterschiedlichen Skalierung für e'_{1j} und e_{ij} (für $i=2,3,4,5$) ist bei der Berechnung der EEF_i zwischen der Berechnung für das Bewertungselement *Produktstrategie* ($i=1$) und der Berechnung für die technischen Bewertungselemente ($i=2,3,4,5$) unterschieden. Für jedes aktivierte Bewertungselement ($x_i=1$) werden – entsprechend der Berechnung des EEF – die Bewertungen (e'_{1j} bzw. e_{ij}) mit den dazugehörigen Gewichtungen (c_{ij}) multipliziert und die Faktoren anschließend zu einer Summe aufsummiert. Abhängig von der Empfehlung (r_i) des betrachteten Bewertungselements wird die Ergebnisskala um die Gewichtung des Bewertungselements (a_i) angepasst.

5.2.3.2 Gewichtungen der Bewertungselemente und –kriterien

In Anlehnung an das Vorgehen zur Ermittlung von paarweisen Vergleichen und zur Durchführung des Konsistenzchecks im Rahmen des AHP¹⁸⁴ wurden die Gewichtungen für die Bewertungselemente (a_i) und die Bewertungskriterien (c_{ij}) für den Anwendungsfall der CP4 ermittelt. Die Gewichtungen sind als ein Vorschlag zur Anwendung des Bewertungsalgorithmus zu sehen und abhängig von der Anwendung in Systemumgebungen weiterer CP anzupassen.

Experten ($n=20$) haben paarweise Vergleiche für das jeweilige zugeordnete Bewertungselement erarbeitet. Dabei haben die Experten den Einfluss der Bewertungskriterien des zugeordneten Bewertungselements gegenüber den restlichen Bewertungskriterien des zugeordneten Bewertungselements bestimmt. Unter der Annahme, dass Führungskräfte ein fachbereichsübergreifendes Erfahrungswissen aufweisen, haben elf Führungskräfte der in Summe 20 Experten einen paarweisen Vergleich hinsichtlich des Einflusses zwischen den Bewertungselementen durchgeführt.

Der Einfluss der Bewertungskriterien zum übergeordneten Bewertungselement und der Einfluss der Bewertungselemente auf den EEF kann mit der von Saaty (2008) empfohlenen Neun-Punkte-Skala für Paarvergleiche ermittelt werden (Tabelle 19). Zur Vereinfachung in der Praxis forderten die Experten eine reduzierte Skala. Die Experten erachten den Detaillierungsgrad der Neun-Punkte-Skala für den unter-

¹⁸⁴ vgl. Kap. 2.3.3.3

suchten Anwendungsfall in der Praxis zu spezifisch. Die berücksichtigten Intensitäten des Einflusses (1,3,5) sind mit ✓ und die ausgeschlossenen Intensitäten (2,4,6,7,8,9) mit × gekennzeichnet.

Tabelle 19: Neun-Punkte-Skala nach Saaty (2008) adaptiert auf die Arbeit

Intensität des Einflusses		
1	gleicher Einfluss	✓
3	moderater Einfluss	✓
5	großer Einfluss	✓
7	sehr großer Einfluss	×
9	extremer Einfluss	×
2, 4, 6, 8	Zwischenwerte	×

Reziproke: (1/1, 1/2, 1/3, 1/4, 1/5, 1/6, 1/7, 1/8, 1/9)
 Kriterium i hat im Vergleich zum Kriterium j einen großen Einfluss (z.B. 5) und somit hat Kriterium j den entsprechenden reziproken Einfluss gegenüber Kriterium i (z.B. 1/5).

Die paarweisen Vergleiche der Experten, die auf Grundlage einer definierten Vorlage erarbeitet wurden, sind im Anhang zu finden. Exemplarisch sind in Tabelle 20 die paarweisen Vergleiche des Experten27 aus der Fertigung abgebildet.

Tabelle 20: Paarweiser Vergleich der Bewertungselemente und -kriterien des Experten27

	i=1	i=2	i=3	i=4	i=5	ΣSi		i=1	i=2	i=3	i=4	i=5	ΣZ	ai
i=1	1	3	5	1/3	1	5 1/2	i=1	0,18	0,29	0,33	0,14	0,18	1,12	22,5%
i=2	1/3	1	3	1/3	1/3	10 1/3	i=2	0,06	0,10	0,20	0,14	0,06	0,56	11,2%
i=3	1/5	1/3	1	1/3	1/3	15	i=3	0,04	0,03	0,07	0,14	0,06	0,34	6,7%
i=4	3	3	3	1	3	2 1/3	i=4	0,54	0,29	0,20	0,43	0,53	1,99	39,8%
i=5	1	3	3	1/3	1	5 2/3	i=5	0,18	0,29	0,20	0,14	0,18	0,99	19,8%
	i=1	j=2	j=3	j=4	j=5	ΣS _{ij}		i=1	j=2	j=3	j=4	j=5	ΣZ _{ij}	c _{ij}
i=1	1	1/3	1	1/5	1/5	15	i=1	0,07	0,06	0,14	0,03	0,07	0,37	7,4%
j=2	3	1	1	3	1/3	5 2/3	j=2	0,20	0,18	0,14	0,48	0,12	1,12	22,4%
j=3	1	1	1	1	1/3	7	j=3	0,07	0,18	0,14	0,16	0,12	0,66	13,3%
j=4	5	1/3	1	1	1	6 1/5	j=4	0,33	0,06	0,14	0,16	0,35	1,05	20,9%
j=5	5	3	3	1	1	2 7/8	j=5	0,33	0,53	0,43	0,16	0,35	1,80	36,0%
Legende	i	Index für Bewertungselemente			j	Index für Bewertungskriterien			ΣS _i /ΣS _{ij}		Summe der Spalteneinträge			
	a _i	Gewichtungen Bewertungselemente			c _{ij}	Gewichtungen Bewertungskriterien			ΣZ/ΣZ _{ij}		Summe der Zeileneinträge			

Zum einen ist der paarweise Vergleich für die Bewertungselemente (Tabelle 20: links oben) und zum anderen ist der paarweise Vergleich für die Bewertungskriterien des zugeordneten Bewertungselements *Fertigungskonzept* (i=4) (Tabelle 20: links unten) aufgezeigt. Zur Ermittlung der Gewichtungen ist jeweils die normierte Matrix notwendig. Für jede Spalte der erarbeiteten Matrizen wurde die Spaltensumme der

Bewertungselemente ($\sum S_i$) und der Bewertungskriterien ($j=1,2,3,4,5$) für das vierte Bewertungselement ($i=4$) ($\sum S_{4j}$) gebildet. Die normierte Matrix ergibt sich aus der Division jedes Matrixeintrags der erarbeiteten Matrizen durch die dazugehörige Spaltensumme. Die normierte Matrix für die Bewertungselemente ist in der Tabelle 20 rechts oben und die normierte Matrix für die Bewertungskriterien des Bewertungselements *Fertigungskonzept* ($i=4$) ist in der Tabelle 20 rechts unten dargestellt. Zusätzlich zu den Matrixeinträgen der normierten Matrizen sind die Summen der Zeileneinträge für die Bewertungselemente ($\sum Z_i$) und für die Bewertungskriterien innerhalb des betrachteten Bewertungselements ($i=4$) ($\sum Z_{4j}$) aufgelistet. Für den paarweisen Vergleich des Experten²⁷ sind der Tabelle die entsprechenden Gewichtungen für die Bewertungselemente (a_i) und für die Bewertungskriterien (c_{4j} , für $j=1,2,3,4,5$) zu entnehmen. Diese ergeben sich aus der Division der Zeilensummen durch die Summe der Zeilensumme.

Beispielsweise resultiert aus der erarbeiteten Matrix der Bewertungselemente (Tabelle 20: links oben), dass Experte²⁷ den Einfluss des Bewertungselements *Produktstrategie* ($i=1$) gegenüber dem Bewertungselement *Erprobungskonzept* ($i=3$) als groß (5) erachtet. Dementsprechend weist das Bewertungselement *Erprobungskonzept* ($i=3$) gegenüber dem Bewertungselement *Produktstrategie* ($i=1$) einen reziproken Einfluss von weniger groß (1/5) auf. Aus der erarbeiteten Matrix der Bewertungskriterien (Tabelle 20: links unten) resultiert zum Beispiel, dass Experte²⁷ den Einfluss des Bewertungskriteriums *Allgemeine Konsequenzen* ($j=1$) gegenüber dem Bewertungskriterium *Kundenstrategie* ($j=2$) als weniger moderat (1/3) kategorisiert hat. Demzufolge hat das Bewertungskriterium *Kundenstrategie* ($j=2$) gegenüber dem Bewertungskriterium *Allgemeine Konsequenzen* ($j=1$) einen moderaten (3) Einfluss. Aus den berechneten Gewichtungen der Bewertungselemente (a_i) geht hervor, dass das Bewertungselement *Fertigungskonzept* ($i=4$) mit der größten Gewichtung (39,8%) in die Berechnung des EEF eingehen soll. Das Bewertungselement *Erprobungskonzept* ($i=3$) soll mit der geringsten Gewichtung (6,7%) einfließen. Mit Hinblick auf die Gewichtungen der Bewertungskriterien (c_{4j}) ist erkennbar, dass das Bewertungskriterium *Kosten* ($j=5$) deutlich dominiert (36,0%) und dass das Bewertungskriterium *Allgemeine Konsequenzen* ($j=1$) die geringste Gewichtung (7,4%) erhalten hat.

Die Ermittlung der paarweisen Vergleiche basieren auf den individuellen Erfahrungen der Experten. Bei einer Vielzahl an durchzuführenden Vergleichen ist von einer begrenzten Informationsverarbeitung der Experten auszugehen (Ozdemir, 2005). In der Praxis ermittelte Matrizen können nach Saaty (2008) hinsichtlich der logischen Sinnhaftigkeit der Matrixeinträge inkonsistent sein. Eine inkonsistente Matrix ist durch nicht transitive Relationen gekennzeichnet (Soma, 2003). Mögliche Gründe

sind die begrenzte Kapazität der Experten bei der Erarbeitung, Verständnisprobleme bei der anzuwendenden Skala, redundante sowie voneinander abhängige Vergleiche. Zudem können Störeinflüsse der Arbeitsumgebung das Urteilsvermögen der Experten beeinträchtigen. (Ozdemir, 2005; Sedlmeier, 2014, S. 95) Nach Bodin und Gass (2003) ist für eine valide Aussage eine konsistente Matrix notwendig, jedoch erlauben reale Arbeitsbedingungen ein gewisses Maß an Inkonsistenz (Bodin & Gass, 2003). Zur Beurteilung der (In-) Konsistenz eines paarweisen Vergleichs wurde jeweils der Konsistenzcheck nach Saaty (2008) durchgeführt, indem in einem ersten Schritt der maximale Eigenwert (λ_{max}) (Gleichung 3) der betrachteten Matrix berechnet wurde. Die Variable A repräsentiert die betrachtete Matrix des paarweisen Vergleichs und die Variable w den Eigenvektor. In einem zweiten Schritt erfolgte die Kalkulation des Konsistenzindex (CI) (engl. consistency index) (Gleichung 4) unter Einbezug des maximalen Eigenwerts (λ_{max}). Die Variable n resultiert aus der Größe der betrachteten nxn-Matrix.

$$A \times w = \lambda_{max} \times w \tag{3}$$

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \tag{4}$$

$$CR = \frac{CI}{RI} \tag{5}$$

Der Konsistenzwert (CR) (engl. consistency ratio) (Gleichung 5) geht in einem dritten Schritt aus der Division des Konsistenzindex durch den Zufallsindex (RI) (engl. random consistency index) hervor. Der Zufallsindex (RI) ist abhängig von der Größe der betrachteten nxn-Matrix (Tabelle 21). Beispielsweise beträgt der Zufallsindex für den vorliegenden Anwendungsfall mit einer 5x5-Matrix RI=1,11.

Tabelle 21: Zufallsindex (RI) zur Berechnung des Konsistenzwerts (Saaty, 2008)

Größe der Matrix (n)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Zufallsindex (RI)	0,00	0,00	0,52	0,89	1,11	1,25	1,35	1,40	1,45	1,49

Ein paarweiser Vergleich mit einer 5x5-Matrix ist nach Saaty (2008) inkonsistent, wenn $CR > 10\%$ gilt. Als Maßnahme wird vorgeschlagen, dass der Experte den paarweisen Vergleich wiederholen soll oder dass die ermittelten Ergebnisse nachfolgend nicht weiter berücksichtigt werden. Anwendungsbeispiele zeigen, dass in der Praxis ein Konsistenzwert von bis zu 20% noch als akzeptabel eingestuft werden kann (vgl. Bodin & Gass, 2003; Erdogmus et al., 2006; Soma, 2003). Bei dem vorliegenden Anwendungsfall konnten bei der Erarbeitung der paarweisen Vergleiche die beschriebenen Gründe für Inkonsistenz ebenfalls beobachtet werden. Infolgedessen liegt im Folgenden der Grenzwert hinsichtlich des Konsistenzwerts bei $CR=20\%$ und inkonsistente Matrizen werden nicht weiter berücksichtigt.

Die paarweisen Vergleiche der Experten wurden mit Hilfe des Konsistenzchecks analysiert. In Tabelle 22 sind die Gewichtungen (a_i) und der Konsistenzcheck mit dem maximalen Eigenwert (λ_{\max}), dem Konsistenzindex (CI) und dem Konsistenzwert (CR) der Experten ($n=11$) aufgelistet. Am Beispiel des Experten27 wird deutlich, dass die Gewichtungen dem Ergebnis aus der Tabelle 20 entsprechen. Alle erarbeiteten paarweisen Vergleiche weisen einen Konsistenzwert unter 20% auf. Auffällig ist der $CR=0\%$ für die paarweisen Vergleiche des Experten40 und des Experten45. Die paarweisen Vergleiche sind demnach vollständig konsistent. Beide Experten haben unabhängig voneinander den Einfluss des Bewertungselements *Produktstrategie* ($i=1$) gegenüber den technischen Bewertungselementen ($i=2,3,4,5$) als moderat groß eingestuft (Anhang). Gleichzeitig weisen alle anderen Vergleiche der Bewertungselemente einen gleichen Einfluss auf. Dementsprechend dominiert das Bewertungselement *Produktstrategie* ($i=1$) mit einer Gewichtung von 42,9% und die restlichen Bewertungselemente sind mit 14,3% gleich gewichtet. Das Bewertungselement *Produktstrategie* ($i=1$) ist auch von Experte25 (53,4%) und Experte11 (52,0%) am höchsten gewichtet, wohingegen Experte32 (7,4%) und Experte9 (5,1%) das Bewertungselement *Produktstrategie* ($i=1$) gegenüber den technischen Bewertungselementen am geringsten kategorisieren. Das Bewertungselement *Erprobungskonzept* ($i=3$) von Experte13 (4,7%) hat die geringste Gewichtung erhalten. Um die Gewichtungen der konsistenten Matrizen gleichwertig zu berücksichtigen, ist für jedes Bewertungselement ein Mittelwert der Gewichtungen seitens der Experten gebildet. Die Mittelwerte sind die vorgeschlagenen Gewichtungen der Bewertungselemente (a_i) für den Bewertungsalgorithmus. Die Bewertungselemente *Produktstrategie* ($i=1$) (29,5%) und *Fertigungskonzept* ($i=4$) (23,2%) weisen im Mittel die größten Gewichtungen auf. Zudem wird durch die Standardabweichung für die einzelnen Bewertungselemente (s_i) deutlich, dass die größten Streuungen unter den Expertengewichtungen bei diesen beiden Bewer-

wertungselementen liegen (16,1%-Punkte für $i=1$ und 10,6%-Punkte für $i=2$). Das Bewertungselement *Erprobungskonzept* ($i=3$) hat die geringste Gewichtung (12,3%) und zugleich die geringste Standardabweichung (5,6%-Punkte). Die Bewertungselemente *Produktdesign* ($i=2$) und *Beschaffungskonzept* ($i=5$) haben vergleichsweise mittlere Gewichtungen (19,0% für $i=2$ und 15,9% für $i=5$) und mittlere Standardabweichungen (6,1%-Punkte für $i=2$ und 7,4%-Punkte für $i=5$).

Tabelle 22: Gewichtungen und Konsistenzcheck für die Bewertungselemente

	Bewertungselemente					Konsistenzcheck		
	i=1	i=2	i=3	i=4	i=5	λ_{max}	CI	CR
Experte9	5,1%	12,6%	14,8%	33,7%	33,7%	5,14	0,03	3,1%
Experte11	52,0%	16,7%	10,1%	13,6%	7,6%	5,51	0,13	11,5%
Experte13	27,6%	27,6%	4,7%	27,6%	12,4%	5,15	0,04	3,4%
Experte22	24,6%	29,6%	15,7%	18,1%	12,1%	5,51	0,13	11,5%
Experte25	53,4%	18,0%	10,7%	9,0%	9,0%	5,20	0,05	4,4%
Experte27	22,5%	11,2%	6,7%	39,8%	19,8%	5,38	0,10	8,6%
Experte31	13,7%	27,2%	26,4%	16,7%	16,1%	5,34	0,08	7,6%
Experte32	7,4%	17,0%	10,4%	39,8%	25,5%	5,68	0,17	15,3%
Experte39	32,4%	20,9%	7,4%	28,6%	10,8%	5,38	0,09	8,5%
Experte40	42,9%	14,3%	14,3%	14,3%	14,3%	5,00	0,00	0,0%
Experte45	42,9%	14,3%	14,3%	14,3%	14,3%	5,00	0,00	0,0%
a_i	29,5%	19,0%	12,3%	23,2%	15,9%			
s_i	16,1%	6,1%	5,6%	10,6%	7,4%			

Legende	i	Index für Bewertungselemente	λ_{max}	maximaler Eigenwert
	a_i	Gewichtungen der Bewertungselemente	CI	Konsistenzindex
	s_i	Standardabweichung der Bewertungselemente	CR	Konsistenzwert

Für die Bewertungskriterien sind in Tabelle 23 die Gewichtungen (c_{ij}) und der Konsistenzcheck mit dem maximalen Eigenwert (λ_{max}), dem Konsistenzindex (CI) und dem Konsistenzwert (CR) der Experten ($n=20$) aufgeführt. Das Vorgehen kann am Beispiel des Experten27 nachvollzogen werden. Das Ergebnis des paarweisen Vergleichs entspricht den aufgelisteten Gewichtungen von Experte27.

Tabelle 23: Gewichtungen und Konsistenzcheck für die Bewertungskriterien

		Bewertungskriterien					Konsistenzcheck		
		j=1	j=2	j=3	j=4	j=5	λ_{\max}	CI	CR
i=1	Experte45	15,3%	27,3%	7,5%	27,3%	22,5%	5,20	0,05	4,4%
	Experte46	14,7%	26,9%	6,6%	22,1%	29,6%	5,18	0,05	4,1%
	Experte47	34,7%	22,8%	5,2%	18,1%	19,1%	5,69	0,17	15,5%
	c_{1j}	21,6%	25,7%	6,5%	22,5%	23,8%			
	s_{1j}	9,3%	2,0%	0,9%	3,8%	4,4%			
i=2	Experte9	4,6%	17,1%	41,7%	21,9%	14,7%	5,30	0,07	6,7%
	Experte11	16,2%	20,3%	27,7%	17,9%	17,9%	6,44	0,36	32,5%
	Experte13	5,3%	21,4%	30,0%	23,5%	19,8%	5,18	0,05	4,1%
	Experte15	7,2%	17,2%	38,8%	25,1%	11,6%	5,50	0,12	11,2%
	Experte16	5,7%	16,1%	43,6%	18,5%	16,1%	5,10	0,02	2,2%
	c_{2j}	5,7%	18,0%	38,5%	22,3%	15,5%			
	s_{2j}	1,0%	2,0%	5,2%	2,5%	2,9%			
i=3	Experte22	35,1%	12,6%	31,3%	13,5%	7,5%	5,28	0,07	6,3%
	Experte23	32,7%	32,7%	14,5%	10,9%	9,3%	5,15	0,04	3,4%
	Experte24	19,3%	9,1%	34,4%	23,5%	13,6%	5,51	0,13	11,5%
	c_{3j}	29,0%	18,1%	26,7%	16,0%	10,1%			
	s_{3j}	6,9%	10,4%	8,7%	5,5%	2,5%			
i=4	Experte25	6,0%	9,7%	37,6%	17,7%	29,0%	5,61	0,15	13,7%
	Experte27	7,4%	22,4%	13,3%	20,9%	36,0%	5,61	0,15	13,6%
	Experte31	36,9%	27,1%	16,2%	9,1%	10,8%	5,70	0,18	15,8%
	Experte32	7,6%	34,7%	6,6%	20,4%	30,7%	5,16	0,04	3,5%
	Experte33	10,7%	21,6%	32,0%	11,2%	24,5%	5,97	0,24	21,9%
	Experte34	11,7%	35,1%	14,8%	14,8%	23,7%	5,20	0,05	4,4%
	c_{4j}	13,9%	25,8%	17,7%	16,6%	26,0%			
	s_{4j}	12,5%	9,2%	10,0%	4,3%	9,3%			
i=5	Experte39	12,7%	29,8%	36,1%	5,1%	16,3%	5,42	0,11	9,5%
	Experte40	4,7%	17,5%	17,5%	17,5%	42,9%	5,15	0,04	3,4%
	Experte42	7,2%	31,8%	27,0%	18,5%	15,6%	5,51	0,13	11,5%
	c_{5j}	8,2%	26,3%	26,9%	13,7%	24,9%			
	s_{5j}	3,3%	6,3%	7,6%	6,1%	12,7%			
Legende	i	Index für Bewertungselemente			j	Index für Bewertungskriterien			
	c_{ij}	Gewichtungen der Bewertungskriterien			s_{ij}	Standardabweichung der Bewertungskriterien			
	λ_{\max}	maximaler Eigenwert			CI	Konsistenzindex			
	CR	Konsistenzwert							

Die Auswertungen der paarweisen Vergleiche durch die Experten sind entsprechend der zugeordneten Bewertungselemente aufgelistet. Dem Konsistenzcheck ist zu entnehmen, dass die Konsistenzwerte von Experte11 (32,5%) und Experte33 (21,9%) über dem Grenzwert von 20% liegen. Aufgrund dessen sind in der Tabelle die Auswertungen der beiden Experten grau hinterlegt und wurden nicht weiter berücksichtigt. Der paarweise Vergleich des Experten16 hat die größte Konsistenz (CR=2,2%) und die paarweisen Vergleiche des Experten31 (CR=15,8%) und des Experten47 (CR=15,5%) haben unter den weiter berücksichtigten Matrizen die geringste Konsistenz. Zur gleichwertigen Ermittlung eines Vorschlags für Gewichtungen der Bewertungskriterien innerhalb eines Bewertungselements (c_{ij}), wurde jeweils der Mittelwert der Gewichtungen der Experten berechnet. Mit Hilfe der Standardabweichung (s_{ij}) für die einzelnen Bewertungskriterien eines Bewertungselements ist die Streuung unter den Expertengewichtungen verdeutlicht.

Innerhalb des Bewertungselements *Produktstrategie* ($i=1$) haben aus Sicht des Experten45, des Experten46 und des Experten47 die Bewertungskriterien *Kundenstrategie* ($j=2$) und *Plattformstrategie* ($j=5$) die höchsten Gewichtungen (25,7% für $j=2$ und 23,8% für $j=5$) mit dazugehöriger Standardabweichung (2,0%-Punkte für $j=2$ und 4,4%-Punkte $j=5$). Die größte Standardabweichung (9,3%-Punkte) ist bei dem Bewertungskriterium *Allgemeine Konsequenzen* ($j=1$) mit einer Gewichtung von 21,6% zu finden. Das Bewertungskriterium *Umsatz* ($j=4$) hat eine Gewichtung von 22,5% und eine Standardabweichung von 3,8%-Punkte. Unter Einbezug der Ergebnisse seitens Experte9, Experte13, Experte15 und Experte16 ist das Bewertungskriterium *Realisierung Kundentermin* ($j=3$) innerhalb des Bewertungselements *Produktdesign* ($i=2$) am stärksten gewichtet (38,5%) und weist die höchste Standardabweichung von 5,2%-Punkte auf. Die paarweisen Vergleiche von Experte22, Experte23 und Experte24 sind bei der Ermittlung der Mittelwerte für das Bewertungselement *Erprobungskonzept* ($i=3$) eingegangen. Die Bewertungskriterien *Allgemeine Konsequenzen* ($j=1$) hat mit 29,0% die größte Gewichtung mit einer Standardabweichung von 6,9%-Punkte. Im Rahmen des Bewertungselements *Fertigungskonzept* ($i=4$) wurden die Auswertungen des Experten25, des Experten27, des Experten31, des Experten32 und des Experten34 berücksichtigt. Am stärksten dominiert das Bewertungskriterium *Kosten* ($j=5$) (26,0%) mit einer Standardabweichung von 9,3%-Punkte. Die Ergebnisse des Bewertungselements *Beschaffungskonzept* ($i=5$) umfassen die paarweisen Vergleiche des Experten39, Experten40 und Experten42. Hoch gewichtet ist das Bewertungskriterium *Realisierung Kundentermin* ($j=3$) (26,9%) mit einer Standardabweichung von 7,6%-Punkte.

Bei Betrachtung der Gewichtungen für alle technischen Bewertungselemente ($i=2,3,4,5$) ist kein eindeutiger Zusammenhang zwischen der Art der Bewertungskri-

terien identifizierbar. Beispielsweise sind die Bewertungskriterien *Technischer Realisierungsaufwand* ($j=2$) und *Kosten* ($j=5$) für die Bewertungselemente *Fertigungskonzept* ($i=4$) und *Beschaffungskonzept* ($i=5$) vergleichsweise hoch gewichtet, wohingegen diese für die Bewertungselemente *Produktdesign* ($i=2$) und *Erprobungskonzept* ($i=3$) eine weniger starke Bedeutung haben. Darüber hinaus hat das Bewertungskriterium *Allgemeine Konsequenzen* ($j=1$) für die Bewertungselemente *Produktdesign* ($i=2$), *Fertigungskonzept* ($i=4$) und *Beschaffungskonzept* ($i=5$) die kleinste Gewichtung. Im Gegensatz dazu hat dieses für das Bewertungselement *Erprobungskonzept* ($i=3$) die größte Gewichtung.

5.2.4 Erkenntnisse zur Methode zur Bewertung von Varianten

Die Erkenntnisse sind im Folgenden aufgelistet und mit den Ergebnissen, die aus der Entwicklung der Methode zur Bewertung hervorgehen, beschrieben.

Mit Hilfe von Bewertungskriterien kann das Zielsystem einer Variante in der Angebotsphase bewertet werden.

Zur Überprüfung der Konsistenz des Zielsystems einer Variante hinsichtlich den Elementen des Referenzsystems wurden Bewertungselemente definiert. Für jedes Bewertungselement wurden Bewertungskriterien diskutiert, mit denen die Auswirkungen einer Variante in der Angebotsphase elementspezifisch bewertet werden können.

Zur Strukturierung der Bewertungsinhalte im Rahmen der Methode zur Bewertung dient eine Bewertungshierarchie.

Die Methode zur Bewertung hat eine hierarchische Bewertungsstruktur. Auf der Ebene *Gesamt-Potential* erfolgt die Aggregation der Bewertungen der Bewertungselemente zu dem Faktor *Effect Estimation Factor*. Auf der Ebene *Bewertungselemente* erfolgt die Aggregation der bewerteten Bewertungskriterien jeweils für die Bewertungselemente. Mit Hinblick auf eine einheitliche Struktur weisen die Bewertungselemente dieselbe Anzahl an Bewertungskriterien auf. Die Bewertungskriterien der technischen Bewertungselemente haben einen einheitlichen, inhaltlichen Aufbau.

Elementspezifische Bewertungsbögen unterstützen die Entwicklerteams bei der Bewertung der Bewertungselemente.

Für alle Bewertungselemente wurden Bewertungsbögen aufgestellt, mit denen die Entwicklerteams das zugeordnete Bewertungselement mit Hilfe der Bewertungskriterien bewerten können. Die Bewertungsbögen weisen zum einen denselben Aufbau und dieselbe Bewertungslogik auf. Zum anderen sind die Bewertungskriterien elementspezifisch ausgeprägt, indem unter anderem die Erklärungstexte für die Ausprägungen der Bewertungsskala – abhängig vom betroffenen Element des Referenzsystems – elementspezifisch definiert sind.

Der EEF ist ein Faktor, der die Bewertungen der Bewertungselemente konsolidiert wiedergibt.

Die Experten der Entwicklerteams bewerten jeweils das zugeordnete Bewertungselement mit Hilfe der Bewertungskriterien. Die Zusammenführung der einzelnen Bewertungen erfolgt mit der Berechnung des EEF, wodurch das Potential einer angefragten Variante für die Organisation objektiviert wird.

Der Bewertungsalgorithmus zur Berechnung des EEF dient der objektivierten und aggregierten Bewertung einer Variante in der Angebotsphase.

Zu dem Zeitpunkt der Bewertung innerhalb der Angebotsphase liegen die Auswirkungen auf die Elemente des Referenzsystems noch nicht in quantifizierten Größen vor. Der EEF stellt die Objektivierung von subjektiven Einschätzungen basierend auf Erfahrungswissen durch die Entwicklerteams dar. Auf der einen Seite geht die Bewertung der Bewertungskriterien abhängig von der Einschätzung der Experten auf einer definierten Bewertungsskala in den Bewertungsalgorithmus ein. Auf der anderen Seite werden Gewichtungen für die Bewertungselemente und die Bewertungskriterien bei der Berechnung berücksichtigt.

Das Wissen über das Referenzsystem einer Variante ist ausschlaggebend für das Bewertungsergebnis einer Variante.

Für ein konsistentes Zielsystem einer Variante ist das Wissen über beispielsweise die referenzierten Produktfunktionen, Produktdesignregeln, Prozesse und Methoden für alle involvierten Fachbereiche in explizierter Form bereitzustellen. Um passende Handlungsalternativen zu identifizieren, ist eine transparente Wissensbasis und ein transparenter Lösungsraum des Referenzsystems notwendig. Aus diesem Grund ist es zielführend die Elemente des Zielsystems und des Referenzsystems einer Variante zu kennen, sodass mit Hilfe der Berechnung des EEF eine fundierte Bewertung für eine angefragte Variante erzielt werden kann. (Albers, Peglow et al., 2019)

Die Variationen der (technischen) Systeme, die mit der Einführung einer Variante einhergehen, bestimmen die Gestaltung des Referenzsystems.

Varianten können Auswirkungen auf das referenzierte Validierungssystem und Produktionssystem haben. Sofern eine Variante in das Produktportfolio aufgenommen wird, können beispielsweise Anpassungen des vorhandenen Erprobungskonzepts, des Fertigungskonzepts und des Beschaffungskonzepts notwendig sein. Beruhend auf der Systematik zur Differenzierung von Varianten (Peglow et al., 2017) sind die angepassten technischen Systeme jeweils als eine Variante des referenzierten Validierungssystems und Produktionssystems mit einem hohen Übernahmevariationsanteil zu verstehen. Um potentielle Anpassungen der referenzierten Produktstrategie und somit die Variation des iPeM-Layers *Strategie* beschreiben zu können, sind weitere Forschungsaktivitäten notwendig. (Albers, Peglow et al., 2019)

5.3 Wechselwirkungen innerhalb des Zielsystems von Varianten

Das Vorgehen zur Modellierung der Wechselwirkungen innerhalb des Zielsystems von Varianten ist in Abbildung 5.7 visualisiert. Ziel ist es, das Verständnis über die Abhängigkeiten zwischen den Elementen des Zielsystems von Varianten und den Elementen des Referenzsystems der Varianten in der Angebotsphase zu erhöhen. Auf Grundlage der Elemente der Bewertungssystematik wurden entscheidende Schlüsselfaktoren identifiziert, die einen maßgeblichen Einfluss bei der Entscheidung über die Einführung einer Variante haben. Die Unterkapitel enthalten die Beschreibungen der Analyse- und der Syntheseaktivitäten während der Modellierung. Die Aktivitäten sind entsprechend in der Spalte Analyse oder in der Spalte Synthese aufgelistet.

Die Analyseaktivitäten, die im Wesentlichen den Aktivitäten der Einflussanalyse im Rahmen der Szenariotechnik entsprechen¹⁸⁵, beruhen auf Interviews und einer Inhaltsanalyse. Unter anderem die Konsolidierung der Analyseergebnisse stellen die Syntheseaktivitäten dar. Das Unterkapitel mit den Erkenntnissen ist grün hervorgehoben. Die Erkenntnisse resultieren aus der Interpretation der Ergebnisse aus der Modellierung der Wechselwirkungen (Synthese) (Kapitel 5.3.4).

¹⁸⁵ vgl. Kap. 2.3.2.3: Erläuterungen zu dem Vorgehen der Einflussanalyse im Rahmen der Szenariotechnik mit den Berechnungen der Indikatoren sowie mit der Darstellungsform der Einflussmatrix und der Ergebnisse in einem System-Grid

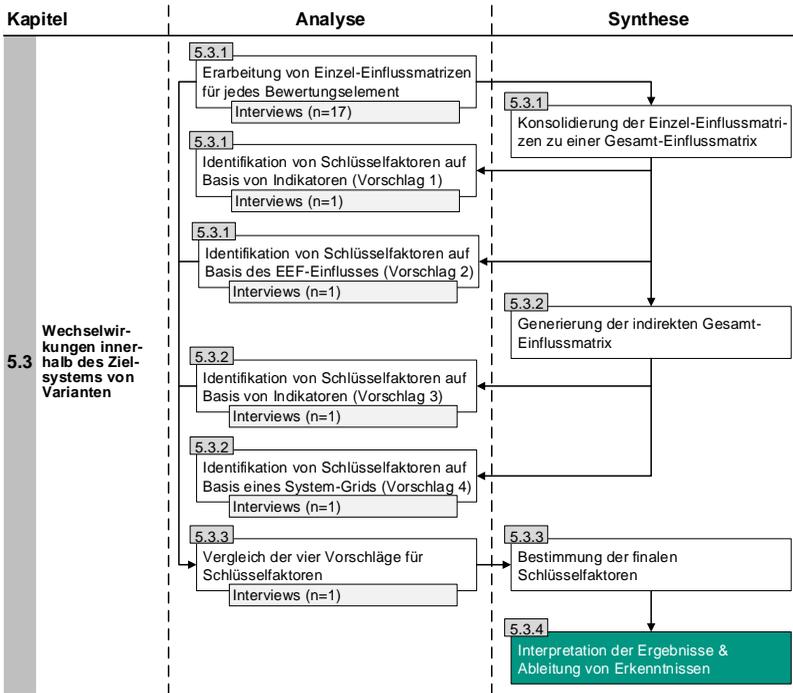


Abbildung 5.7: Vorgehen zur Modellierung der Wechselwirkungen innerhalb des Zielsystems von Varianten

Aufgrund der Bewertungsreihenfolge der Bewertungselemente und der Bewertungskriterien können bereits vorgenommene Bewertungsergebnisse mit Hilfe der Bewertungskriterien nachfolgende Bewertungen innerhalb eines Bewertungselements und zwischen den Bewertungselementen beeinflussen. Jeder der Experten (n=17) hat in einem standardisierten Interview eine Einflussmatrix für die direkte Einflussanalyse erarbeitet (Analyse) (Kapitel 5.3.1). In einer Matrix sind jeweils der Einfluss zwischen den in Summe 30 Bewertungskriterien der Bewertungselemente abgebildet. Unterstützt haben Experte11, Experte13, Experte15, Experte16, Ex-

perte20, Experte22, Experte23, Experte24, Experte25, Experte31, Experte32, Experte33, Experte34, Experte39, Experte40, Experte42 und Experte46.¹⁸⁶ Diese Einzel-Einflussmatrizen wurden zu einer direkten Gesamt-Einflussmatrix zusammengeführt (Synthese) (Kapitel 5.3.1), die als Grundlage zur Identifikation der ersten beiden Vorschläge für Schlüsselfaktoren dient. Der erste Vorschlag basiert auf der Berechnung der Indikatoren der Einflussanalyse. Zu den Indikatoren zählen die Aktivsumme, die Passivsumme, der Dynamikindex und der Proaktivitätsindex. Die Bewertungskriterien wurden beruhend auf den Indikatoren mit Experte25 (n=1) als Repräsentant des Analyseteams diskutiert. Das Ergebnis ist der Vorschlag mit den ausgewählten Schlüsselfaktoren, die unter Berücksichtigung von Auswahlkriterien durch einen subjektiven Auswahlprozess bestimmt wurden (Analyse) (Kapitel 5.3.1). Die Auswahlkriterien sind: Vermeidung von inhaltlichen Dopplungen, Sicherstellung der Themenabdeckung, Vollständigkeit einzelner Themenkomplexe, Berücksichtigung von politischen Faktoren (in diesem Fall: Unternehmenspolitik), Akzeptanz durch das Analyseteam (Fink & Siebe, 2013). Der zweite Vorschlag basiert auf der Berechnung des Einflusses eines jeden Bewertungskriteriums auf den EEF (Analyse) (Kapitel 5.3.1). Die direkte Gesamt-Einflussmatrix diente als Grundlage zur Generierung der indirekten Gesamt-Einflussmatrix mit Hilfe des Software Tools ScenarioManager™ von SciM (Fink & Siebe, 2019) (Synthese) (Kapitel 5.3.2). Zwei weitere Vorschläge für Schlüsselfaktoren resultieren aus der Analyse der indirekten Gesamt-Einflussmatrix. Der dritte Vorschlag basiert auf der Berechnung der Indikatoren (Aktivsumme, Passivsumme, Dynamikindex, Proaktivitätsindex). Die Indikatoren der Bewertungskriterien wurden mit Experte25 (n=1) als Repräsentant des Analyseteams diskutiert. Die Auswahl der Schlüsselfaktoren wurde mit Hilfe der Auswahlkriterien vorgenommen (Analyse) Kapitel 5.3.2). Das Tool ScenarioManager™ unterstützte bei der Identifikation des vierten Vorschlags. Mit Experte25 (n=1) wurden Bedingungen definiert, auf deren Basis das Tool ein System-Grid für die Bewertungskriterien erstellt hat. Durch einen Vergleich der vier Vorschläge erfolgte der finale Vorschlag in Abstimmung mit Experte25 mit Hilfe der Auswahlkriterien (Analyse) (Kapitel 5.3.3).

5.3.1 Direkte Einflussanalyse der Wechselwirkungen

Experten (n=17) haben direkte Einzel-Einflussmatrizen erarbeitet, mit denen die unmittelbaren Beziehungen zwischen den Bewertungskriterien untersucht wurden (Kapitel 5.3.1.1). Die Einzel-Einflussmatrizen wurden zu einer Gesamt-Einflussmatrix zusammengeführt (Kapitel 5.3.1.2). Basierend auf Indikatoren (Kapitel

¹⁸⁶ vgl. Kap. 3.3.3: Involvierte Experten während des Forschungsprojekts

5.3.1.3) und basierend auf dem Einfluss der Bewertungskriterien auf den EEF (Kapitel 5.3.1.4) wurden zwei Vorschläge für Schlüsselfaktoren identifiziert.

5.3.1.1 Direkte Einzel-Einflussmatrizen

Da jedes Entwicklerteam nur die Bewertung des ihm zugeordneten Bewertungselements vornimmt, ist angenommen, dass ausschließlich die Experten der entsprechenden Entwicklerteams den Einfluss der anderen Bewertungselemente auf das zugeordnete Bewertungselement bestimmen können. Für die standardisierten Interviews ($n=17$) wurden elementspezifische Vorlagen erstellt, die zur Untersuchung des Einflusses dienten. Beispielhaft sind in Tabelle 24 die Einflussmatrizen von Experte39, Experte40 und Experte42 aufgezeigt, die die Wechselwirkungen für das Bewertungselement *Beschaffungskonzept* ($i=5$) beinhalten. Die Einflussmatrizen der weiteren Bewertungselemente ($i=1,2,3,4$) sind im Anhang zu finden. Das Design der Tabellen entspricht jeweils der Vorlage für die Bewertungselemente.

Die Experten waren dazu angehalten den Einfluss eines vertikal aufgelisteten Bewertungskriteriums (j) auf ein horizontal aufgelistetes Bewertungskriterium (j) des betrachteten Bewertungselements (i) mit mathematischen Operatoren zu (++ , + , 0 , - , --) zu beurteilen. Die Experten haben ausschließlich die direkten Abhängigkeiten zwischen den Bewertungskriterien bestimmt, die in einem unmittelbaren Zusammenhang zueinanderstehen. Die mathematischen Operatoren ++ und + stehen für einen sehr starken (+2) beziehungsweise starken (+1) positiven Einfluss, während -- und – für einen sehr starken (-2) beziehungsweise starken (-1) negativen Einfluss stehen. Sofern kein Einfluss besteht, hat der Matrixeintrag das Symbol 0 erhalten. (Albers, Peglow et al., 2019) Die grau eingefärbten Matrixeinträge sind in der Vorlage mit dem Symbol 0 belegt, da infolge des Bewertungsprozesses kein Einfluss vorliegen kann. An der Einflussmatrix von Experte39 ist beispielsweise zu erkennen, dass die Bewertung mit Hilfe des Bewertungskriteriums *Plattformstrategie* ($j=5$) des Bewertungselements *Produktstrategie* ($i=1$) einen negativen Einfluss (-) auf die Bewertung mit Hilfe des Bewertungskriteriums *Kosten* ($j=5$) des betrachteten Bewertungselements *Beschaffungskonzept* ($i=5$) haben kann. Sofern eine angefragte Variante nicht mit der Plattformstrategie vereinbar ist, ist das Bewertungskriterium *Plattformstrategie* ($j=5, i=1$) mit der Ausprägung *sehr gering* manifestiert. Auf Grundlage der Einflussmatrix des Experten39 kann angenommen werden, dass diese Bewertung einen negativen Einfluss auf die Bewertung der Kosten im Rahmen des Beschaffungskonzepts hat. Folglich wird das Bewertungskriterium *Kosten* ($j=5, i=5$) potentiell mit der Ausprägung *hoch* oder sogar mit der Ausprägung *sehr hoch* gekennzeichnet sein. Weiterhin verdeutlicht die Einflussmatrix des Experten39 einen sehr starken positiven Einfluss (++) der Bewertung mit Hilfe des Bewertungskriteriums *Kapazitätsbedarf* ($j=4$) des Bewertungselements *Beschaffungskonzept* ($i=5$) auf die Bewertung mit Hilfe des Bewertungskriteriums *Realisierung Kundentermin*

(j=3) des betrachteten Bewertungselements *Beschaffungskonzept* (i=5). Bei einem hohen Kapazitätsbedarf für den Einkauf kann mit einem hohen Aufwand zur Realisierung des Kundentermins für den Einkauf gerechnet werden. Demzufolge bedeutet die Bewertung mit der Ausprägung *hoch* für das Bewertungskriterium *Kapazitätsbedarf* (j=4, i=5) seitens des Einkaufs, dass auch der Einkauf das Bewertungskriterium *Realisierung Kundentermin* (j=2, i=5) potentiell mit der Ausprägung *hoch* charakterisieren wird.

Tabelle 24: Direkte Einzel-Einflussmatrizen des Bewertungselements Beschaffungskonzept

		Beschaffungskonzept (i=5)																													
		Experte39						Experte40						Experte42						Mittelwert											
i	j	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6						
1	1	0	+	0	0	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	+	0	0	0	0	0	+	0	0	0,0	0,3	0,0	0,3	-0,3	0,0
	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	+	-	0	0,0	0,0	-0,3	0,3	-0,3	0,0					
	3	-	-	-	-	0	+	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	-	-	0	-0,3	-0,3	-1,0	-1,0	-0,7	0,3					
	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	+	++	++	0	0	-	+	+	+	0,0	0,0	-0,3	0,7	1,0	1,0					
	5	0	-	-	0	-	+	-	0	0	0	0	-	++	-	-	-	-	-	+	-0,7	-0,7	-1,0	-0,7	-1,0	1,3					
	6	0	-	-	0	0	+	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	0	0	+	0,0	-0,3	-0,7	0,0	0,0	0,7					
2	1	0	0	+	+	0	-	0	0	+	++	+	-	0	+	++	++	++	0	0,0	0,3	1,3	1,7	1,0	-1,0						
	2	0	0	+	+	+	0	0	0	0	0	++	0	--	0	0	+	++	+	0	0,0	0,0	0,7	1,7	0,7	-0,7					
	3	0	+	++	+	+	-	0	0	+	++	0	--	0	0	--	--	+	--	0,0	0,3	0,3	0,3	0,7	-1,7						
	4	0	+	++	+	+	0	0	0	0	++	0	--	0	-	+	++	+	0	0,0	0,0	0,7	1,7	0,7	-0,7						
	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	+	0	0	0	-	+	0	+	0	0,0	-0,3	0,3	0,3	0,3	0,0						
	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	+	0	-	0	0	0	0	0,0	-0,3	0,0	0,0	0,0	0,3					
3	1	0	+	+	+	+	-	0	0	0	0	0	-	0	++	++	++	+	-	0,0	1,0	1,0	1,0	0,7	-1,0						
	2	+	+	+	0	+	-	0	0	0	+	0	0	0	++	++	++	+	-	0,3	1,0	1,0	1,0	0,7	-0,7						
	3	+	+	++	+	+	-	0	0	+	+	+	-	0	+	++	++	+	-	0,3	0,7	1,7	1,3	1,0	-1,0						
	4	+	+	+	0	+	-	0	0	0	0	0	0	0	+	+	+	+	0	0,3	0,7	0,7	0,3	1,0	-0,3						
	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	+	+	0	0	-	0,0	0,3	0,3	0,0	0,0	-0,3					
	6	0	-	-	-	-	+	0	0	0	0	0	0	0	0	-	-	-	0	+	0,0	-0,7	-0,7	-0,7	-0,3	0,7					
4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	+	0	0	0	+	+	+	0	0	0,0	0,3	0,3	0,7	0,0	0,0						
	2	++	++	0	0	+	-	0	0	0	0	+	0	0	+	+	0	0	0	0,7	1,0	0,3	0,0	0,7	-0,3						
	3	++	++	+	+	+	--	0	0	+	+	++	-	0	+	+	0	0	-	0,7	1,0	1,0	0,7	1,0	-1,3						
	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	+	0	0	0	0,0	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0						
	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	+	+	0	0	0	0,0	0,3	0,3	0,0	0,0	0,0					
	6	-	0	-	-	0	+	0	0	0	0	0	0	0	0	-	0	0	+	-0,3	0,0	-0,7	-0,3	0,0	0,7						
5	1	0	++	+	0	0	--	0	0	0	+	0	0	0	0	++	+	0	-	0,0	0,7	1,0	0,7	0,0	-1,0						
	2	0	0	+	0	+	--	++	0	++	++	++	--	0	0	++	++	++	--	0,7	0,0	1,7	1,3	1,7	-2,0						
	3	+	+	0	+	+	-	0	0	0	0	+	0	-	+	+	0	+	+	-	0,7	0,7	0,0	1,0	0,7	-1,0					
	4	0	0	++	0	+	-	0	0	0	0	0	0	0	+	++	+	0	+	-	0,3	0,7	1,0	0,0	0,7	-0,7					
	5	++	+	+	0	0	--	0	0	0	0	0	0	-	+	0	+	0	+	-	0,7	0,7	0,3	0,3	0,0	-1,3					
	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0					

Legende	i	Index für Bewertungselemente	j	Index für Bewertungskriterien	0/ +/-	kein/ positiver/ negativer Einfluss
---------	---	------------------------------	---	-------------------------------	--------	-------------------------------------

Für die Identifikation der Schlüsselfaktoren wurde die vorgeschlagene Skala der Einflussanalyse (0,1,2,3)¹⁸⁷ in angepasster Form verwendet (-2,-1,0,+1,+2), da bei der vorgeschlagenen Skala der Einflussanalyse die positiven und negativen Einflüsse nicht unterschieden werden. Für jedes Bewertungselement wurden die Einzel-Einflussmatrizen der Experten zu einer gemeinsamen Matrix zusammengeführt. Die Matrixeinträge der gemeinsamen Matrix entsprechen dem Mittelwert der adäquaten Matrixeinträge der Einzel-Einflussmatrizen. Die berechneten Werte der gemeinsamen Matrix sind zur Übersichtlichkeit mit einer Nachkommastelle abgebildet, wobei die Identifikation der Schlüsselfaktoren auf den genauen Zahlenwerten basiert. Zum Beispiel wird an Tabelle 24 deutlich, dass der Mittelwert für den Einfluss der Bewertung mit Hilfe des Bewertungskriteriums *Umsatz* (j=4) des Bewertungselements *Produktstrategie* (i=1) auf die Bewertung mit Hilfe des Bewertungskriteriums *Realisierung Kundentermin* (j=3) des Bewertungselements *Beschaffungskonzept* (i=5) -1,0 beträgt. Dieser Mittelwert ergibt sich durch Summation der adäquaten Matrixeinträge (-1 für Experte39, 0 für Experte40, -2 für Experte42) und anschließender Division der berechneten Summe durch die Anzahl der Experten (Beschaffungskonzept: 3). Die weiteren Matrixeinträge der gemeinsamen Matrix sind analog berechnet.

5.3.1.2 Direkte Gesamt-Einflussmatrix

Die direkte Gesamt-Einflussmatrix (Tabelle 25) ist die Zusammenführung der Einzel-Einflussmatrizen der Bewertungselemente in einer 30x30-Matrix. Für jedes Bewertungselement ist jeweils die gemeinsame Matrix mit den Mittelwerten (Anhang) in die Gesamt-Einflussmatrix integriert. Die grau eingefärbten Matrixeinträge verdeutlichen die Vergleichspaare, zwischen denen – aufgrund der zeitlichen Abfolge im Bewertungsprozess – kein Einfluss besteht (0,0).¹⁸⁸ (Albers, Peglow et al., 2019)

¹⁸⁷ vgl. Kap. 2.3.2.3

¹⁸⁸ vgl. Kap. 5.1 und Kap. 5.2: Erläuterungen zur Bewertungsreihenfolge der Bewertungselemente mit Hilfe der Bewertungskriterien im Rahmen des Bewertungsprozesses und der Anwendung der Methode zur Bewertung

Tabelle 25: Direkte Gesamt-Einflussmatrix (Albers, Peglow et al., 2019)

i	1						2						3						4						5						
	j	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
1	1	0,0	0,0	0,0	1,0	2,0	1,0	0,6	-0,2	0,2	-0,6	0,0	1,4	1,0	0,7	0,3	0,7	0,7	1,0	0,4	0,0	0,0	0,2	0,2	0,4	0,0	0,3	0,0	0,3	-0,3	0,0
	2	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,6	0,4	0,8	0,6	0,6	1,2	0,7	0,0	0,7	0,3	0,3	0,0	0,0	0,0	-0,2	0,2	-0,2	0,4	0,0	0,0	-0,3	0,3	-0,3	0,0
	3	1,0	0,0	0,0	0,0	1,0	1,0	-0,2	-1,0	-1,0	-0,8	-1,2	0,6	0,0	0,0	-0,7	0,0	0,0	0,0	0,2	0,2	-0,4	-0,2	-0,4	0,0	-0,3	-0,3	-1,0	-1,0	-0,7	0,3
	4	2,0	1,0	0,0	0,0	1,0	1,0	0,6	0,2	0,0	0,2	0,6	1,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,0	0,6	0,0	-0,2	1,0	1,0	0,4	0,0	0,0	-0,3	0,7	1,0	1,0
	5	1,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	-1,6	-1,8	-1,4	-1,4	-1,4	1,4	-1,0	-0,7	-1,0	-0,7	-0,3	1,0	-1,2	-1,4	-0,6	-1,4	-1,2	1,6	-0,7	-0,7	-1,0	-0,7	-1,0	1,3
	6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,4	-0,6	-0,2	-0,8	-0,6	0,8	-1,0	-0,7	-0,3	-0,7	-0,7	0,7	0,0	-0,4	-0,2	-0,2	-0,2	0,4	0,0	-0,3	-0,7	0,0	0,0	0,7
2	1	0,0	0,0	0,0	0,0	-1,0	0,0	0,0	1,2	1,2	1,6	1,6	-1,4	0,7	0,3	1,3	1,3	1,3	-1,3	0,8	0,8	1,4	1,2	1,2	-1,0	0,0	0,3	1,3	1,7	1,0	-1,0
	2	0,0	0,0	0,0	0,0	-1,0	1,0	0,8	0,0	1,2	1,8	1,8	-1,4	1,3	0,7	1,3	1,3	1,3	-1,3	0,4	0,4	0,6	0,6	0,6	-0,2	0,0	0,0	0,7	1,7	0,7	-0,7
	3	-1,0	0,0	-1,0	-1,0	-1,0	0,0	0,6	1,4	0,0	1,2	0,8	-0,6	0,7	0,0	1,0	0,7	0,7	-1,3	0,8	0,8	0,8	0,4	1,0	-1,6	0,0	0,3	0,3	0,3	0,7	-1,7
	4	0,0	0,0	-1,0	-1,0	-1,0	1,0	1,0	0,8	0,0	1,2	-1,2	1,3	0,3	1,7	1,3	1,3	-1,3	0,0	0,2	0,4	0,4	0,4	0,4	0,0	0,0	0,0	0,3	0,7	1,7	0,7
	5	0,0	0,0	-1,0	0,0	-1,0	1,0	0,8	1,4	0,6	1,2	0,0	-1,2	1,0	0,3	0,3	1,0	1,3	-1,3	0,0	0,0	0,0	0,4	0,0	0,4	0,0	0,0	-0,3	0,3	0,3	0,0
	6	1,0	0,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-1,3	-1,3	-1,3	-1,0	-1,0	1,3	-0,2	-0,8	-0,4	-0,2	-0,4	0,4	0,0	-0,3	0,0	0,0	0,3
3	1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	1,0	1,3	1,3	-1,3	0,6	1,0	1,0	0,8	0,6	-0,8	0,3	1,0	1,0	1,0	0,7	-1,0	
	2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	1,3	1,0	1,3	-1,3	0,4	1,0	0,8	0,6	-0,8	0,3	1,0	1,0	1,0	0,7	-0,7	
	3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,7	0,7	-0,7	1,0	0,6	1,8	0,8	0,6	-1,0	0,3	0,7	1,7	1,3	1,0	-1,0
	4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,7	1,3	1,3	0,0	1,3	-0,7	0,2	0,4	0,6	0,2	0,2	0,0	0,3	0,7	0,7	0,3	1,0
	5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,7	0,7	0,7	1,0	0,0	-0,7	0,0	0,2	0,6	0,0	0,2	-0,2	0,0	0,3	0,3	0,0	-0,3
	6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,2	-0,6	-0,2	-0,4	0,4	0,0	-0,7	-0,7	-0,3	0,7	
4	1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,3	0,3	0,3	0,0	0,0	-0,3	0,0	0,8	1,2	1,0	0,2	-0,6	0,0	0,3	0,7	0,0	0,0	
	2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,7	0,7	1,0	0,7	0,3	-0,7	1,0	0,0	1,6	1,0	1,4	-1,6	0,7	1,0	0,3	0,0	-0,3	
	3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,7	0,0	0,7	0,0	0,0	-0,3	1,2	0,8	0,0	1,0	0,8	-1,0	0,7	1,0	1,0	0,7	-1,3	
	4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,3	0,3	0,0	0,0	-0,3	1,0	1,6	1,0	1,0	-1,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	0,0	
	5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,7	0,3	0,3	0,3	-0,3	0,4	1,0	1,0	1,0	0,0	-1,0	0,0	0,3	0,3	0,0	0,0	
	6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-1,3	-0,3	-0,3	0,0	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,3	0,0	-0,7	-0,3	0,0	
5	1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	0,3	0,3	0,3	0,0	0,0	0,2	0,6	0,2	0,0	0,0	0,7	1,0	0,7	0,0	-1,0	
	2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,3	0,3	1,0	0,7	0,3	-0,3	0,2	0,6	1,4	0,6	0,4	-0,2	0,7	1,3	1,7	-2,0		
	3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,7	0,0	1,0	0,3	0,7	0,0	0,4	0,8	1,6	0,4	0,4	-1,0	0,7	0,7	0,0	1,0	-1,0	
	4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,3	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	-0,2	0,3	0,7	1,0	0,0	0,7	-0,7	
	5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,3	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0	0,2	0,2	0,0	0,0	0,0	0,7	0,7	0,3	0,3	0,0	
	6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-1,3	-0,3	-0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,8	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	

Legende	i	Index für Bewertungselemente	j	Index für Bewertungskriterien	0/ +/-	kein/ positiver/ negativer Einfluss
---------	---	------------------------------	---	-------------------------------	--------	-------------------------------------

Die Sinnhaftigkeit der Gesamt-Einflussmatrix ist durch nachfolgend beschriebene logische Zusammenhänge erörtert.

Der Einfluss der Bewertung der technischen Bewertungselemente (i=2,3,4,5) auf die Bewertung der technischen Bewertungselemente (i=2,3,4,5) ist logisch sinnhaft:

Die Bewertungen mit Hilfe der ersten fünf Bewertungskriterien (j=1,2,3,4,5) haben jeweils auf die Bewertungen mit Hilfe der sechsten Bewertungskriterien (j=6) entweder keinen oder einen negativen Einfluss. Zum Beispiel kann angenommen werden, wenn der Aufwand zur Realisierung des Kundentermins seitens der Fertigung (j=3, i=4) hoch eingeschätzt wird, dann wird die Variante seitens des Einkaufs wahrscheinlich nicht empfohlen (j=6, i=5) (Einfluss: -1,3). Es existiert ein positiver oder kein Zusammenhang zwischen den ersten fünf Bewertungskriterien. Beispielsweise

ist mit einem hohen Aufwand zur Realisierung des Kundentermins seitens der Fertigung ($j=3, i=4$) zu rechnen, sofern seitens der Validierung der Aufwand zur Realisierung des Kundentermins ($j=3, i=3$) hoch eingeschätzt wird (Einfluss: $+1,8$). Die Bewertung mit Hilfe des Bewertungskriteriums *Empfehlung* ($j=6$) beeinflusst die Bewertung mit Hilfe der Bewertungskriterien *Empfehlung* ($j=6$) der anderen technischen Bewertungselemente entweder nicht oder positiv. Wenn zum Beispiel eine Variante seitens der Entwicklung nicht empfohlen ($j=6, i=2$) wird, ist davon auszugehen, dass die Variante seitens der Validierung ($j=6, i=3$) auch nicht empfohlen wird (Einfluss: $+1,3$). Zwischen der Bewertung mit Hilfe eines Bewertungskriteriums *Empfehlung* ($j=6$) und der Bewertung mit Hilfe der ersten fünf Bewertungskriterien ($j=1,2,3,4,5$) der anderen technischen Bewertungselemente ist entweder kein oder ein negativer Einfluss feststellbar. Im Falle, dass eine Variante seitens der Fertigung nicht empfohlen ($j=6, i=4$) wird, werden die allgemeinen Konsequenzen seitens der Validierung ($j=1, i=3$) wahrscheinlich hoch bewertet werden (Einfluss: $-1,3$).

Der Einfluss der Bewertung des ersten Bewertungselements ($i=1$) auf die Bewertung der technischen Bewertungselemente ($i=2,3,4,5$) ist teilweise logisch sinnvoll:

Die Bewertungen mit Hilfe der ersten fünf Bewertungskriterien ($j=1,2,3,4,5$) haben entweder keinen oder einen positiven Einfluss auf die Bewertung mit Hilfe der Bewertungskriterien *Empfehlung* ($j=6$) der technischen Bewertungselemente. Ist der Kunde der angefragten Variante beispielsweise ein strategischer Kunde ($j=2, i=1$), ist davon auszugehen, dass die Variante seitens der Entwicklung ($j=6, i=2$) empfohlen wird (Einfluss: $+1,2$). Für den Einfluss der Bewertungen mit Hilfe der ersten fünf Bewertungskriterien ($j=1,2,3,4,5$) auf die Bewertungen mit Hilfe der ersten fünf Bewertungskriterien ($j=1,2,3,4,5$) der technischen Bewertungselemente ist kein eindeutig allgemeiner Zusammenhang identifizierbar. Zum Beispiel würde bedeuten, dass eine kundenindividuelle Sonderlösung ohne Marktpotential ($j=1, i=1$) einen hohen Kapazitätsbedarf seitens der Entwicklung ($j=4, i=2$) (Einfluss: $-0,6$) und einen niedrigen Kapazitätsbedarf seitens der Validierung ($j=4, i=3$) (Einfluss: $+0,3$) potentiell mit sich bringt. Ein logischer, praxisnaher Zusammenhang ist demnach nicht gegeben. Die Bewertung mit Hilfe des Bewertungskriteriums *Empfehlung* ($j=6$) beeinflusst die Bewertung mit Hilfe der Bewertungskriterien *Empfehlung* ($j=6$) der technischen Bewertungselemente entweder nicht oder positiv. Wird eine Variante seitens des Produktmanagements ($j=6, i=2$) empfohlen, wird diese wahrscheinlich auch seitens der Entwicklung ($j=6, i=2$) (Einfluss: $+0,8$), der Validierung ($j=6, i=3$) (Einfluss: $+0,7$) und des Einkaufs ($j=6, i=5$) (Einfluss: $+0,7$) empfohlen. Die Bewertung mit Hilfe des Bewertungskriteriums *Empfehlung* ($j=6$) hat keinen oder einen negativen Zusammenhang mit den ersten fünf Bewertungskriterien ($j=1,2,3,4,5$) der

technischen Bewertungselemente. Die Empfehlung einer Variante seitens des Produktmanagements ($j=6, i=1$) impliziert somit potentiell einen geringen Anpassungsaufwand der vorhandenen Prüf- und Messtechnik ($j=2, i=3$) (Einfluss: $-0,7$).

Der Einfluss der Bewertungen innerhalb des ersten Bewertungselements ($i=1$) ist logisch sinnvoll:

Die Bewertung mit Hilfe des Bewertungskriteriums *Empfehlung* ($j=6, i=1$) wird von den Bewertungen mit Hilfe der ersten fünf Bewertungskriterien ($j=1,2,3,4,5$) nicht oder positiv beeinflusst. Beispielsweise ist bei einem hohen Umsatz ($j=4, i=1$) zu erwarten, dass die Variante seitens des Produktmanagements empfohlen ($j=6, i=1$) wird (Einfluss: $+1,0$). Die Bewertungen mit Hilfe der ersten fünf Bewertungskriterien ($j=1,2,3,4,5$) haben wechselseitig keinen oder einen positiven Zusammenhang. Ein Beispiel dafür ist, dass bei einem strategischen Kunden ($j=2, i=1$) auch ein hoher Umsatz ($j=4, i=1$) realistisch ist (Einfluss: $+1,0$). Von der Bewertung mit Hilfe des Bewertungskriteriums *Empfehlung* ($j=6, i=1$) geht kein Einfluss auf die Bewertungen mit Hilfe der Bewertungskriterien ($j=1,2,3,4,5,6$) aus.

Der Einfluss der Bewertung des zweiten Bewertungselements ($i=2$) auf die Bewertung des ersten Bewertungselements ($i=1$) ist logisch sinnvoll:

Die Bewertungen mit Hilfe der ersten fünf Bewertungskriterien ($j=1,2,3,4,5$) bedingen die Bewertung mit Hilfe des Bewertungskriteriums *Empfehlung* ($j=6, i=1$) nicht oder negativ. Im Falle, dass die Kosten seitens der Entwicklung ($j=5, i=2$) hoch eingeschätzt werden, wird die Variante seitens des Produktmanagements potentiell weniger empfohlen ($j=6, i=1$) (Einfluss: $-1,0$). Die Bewertungen mit Hilfe der ersten fünf Bewertungskriterien ($j=1,2,3,4,5$) haben keinen oder einen negativen Einfluss auf die Bewertungen mit Hilfe der ersten fünf Bewertungskriterien ($j=1,2,3,4,5$) des Bewertungselements *Produktstrategie* ($i=1$). Falls ein hoher Kapazitätsbedarf seitens der Entwicklung ($j=3, i=2$) identifiziert wird, ist mit einem reduzierten Umsatz ($j=4, i=1$) zu rechnen (Einfluss: $-1,0$). Ein positiver Zusammenhang ist zwischen den Bewertungen mit Hilfe der Bewertungskriterien *Empfehlung* ($j=6$) festzustellen. Sofern die Entwicklung die Variante empfiehlt, wird auch das Produktmanagement die Variante potentiell empfehlen (Einfluss: $+1,0$). Es besteht kein oder ein positiver Einfluss der Bewertung mit Hilfe des Bewertungskriteriums *Empfehlung* ($j=6$) auf die Bewertungen mit Hilfe der ersten fünf Bewertungskriterien ($j=1,2,3,4,5$). Wenn die Variante seitens der Entwicklung ($j=6, i=2$) nicht empfohlen wird, kann es sein, dass es sich um eine kundenindividuelle Sonderlösung ohne Marktpotential ($j=1, i=1$) handelt (Einfluss: $+1,0$).

5.3.1.3 Direkte Analyse basierend auf Indikatoren

Der erste Vorschlag für Schlüsselfaktoren basiert auf der Berechnung der Indikatoren *Aktivsumme* (A), *Passivsumme* (P), *Dynamikindex* (DI), *Proaktivitätsindex* (PI)¹⁸⁹ (Tabelle 26).

Tabelle 26: Direkte Analyse basierend auf Indikatoren (Albers, Peglow et al., 2019)

i	j	1				2				3				4				5				Gesamt					
		A	P	DI	PI	A	P	DI	PI	A	P	DI	PI	A	P	DI	PI	A	P	DI	PI	A	P	DI	PI		
1	1	4,0	4,0	16	1,0	3,2	2,0	6	1,6	4,3				1,2				1,0				13,7	6,0	82	2,3		
	2	1,0	1,0	1	1,0	4,2	0,0	0	-	2,0				1,0				1,0				9,2	1,0	9	9,2		
	3	3,0	1,0	3	3,0	4,8	4,0	19	1,2	0,7				1,4				3,7				13,5	5,0	68	2,7		
	4	5,0	2,0	10	2,5	2,8	3,0	8	0,9	1,7				3,2				3,0				15,7	5,0	78	3,1		
	5	2,0	4,0	8	0,5	9,0	6,0	54	1,5	4,7				7,4				5,3				28,4	10,0	284	2,8		
	6	0,0	3,0	0	0,0	3,4	5,0	17	0,7	4,0				1,4				1,7				10,5	8,0	84	1,3		
		15,0	15,0	225	1,0	27,4	20,0	548	1,4	17,3				15,6				15,7				91,0	35,0	3185	2,6		
2	1	1,0	4,0	4	0,3	7,0	3,2	22	2,2	6,3				6,4				5,3				26,1	7,2	188	3,6		
	2	2,0	4,2	8	0,5	7,0	4,0	28	1,8	7,3				3,7				2,8				22,8	8,2	187	2,8		
	3	5,0	3,6	18	1,4	3,6	3,8	14	0,9	4,3				5,4				3,3				21,7	7,4	160	2,9		
	4	4,0	4,4	18	0,9	5,2	5,8	30	0,9	7,3				1,4				3,7				21,6	10,2	220	2,1		
	5	3,0	4,6	14	0,7	5,2	5,4	28	1,0	5,3				0,8				1,3				15,7	10,0	157	1,6		
	6	5,0	6,6	33	0,8	0,0	5,8	0	0,0	7,3				2,4				0,7				15,4	12,4	191	1,2		
		20,0	27,4	548	0,7	28,0	28,0	784	1,0	38,0				19,2				18,0				123,2	55,4	6825	2,2		
3	1	4,0				6,3				6,0	2,3	14	2,6	3,6	6,3	23	0,6	4,7	5,7	26	0,8	14,3	24,7	352	0,6		
	2	2,3				3,0				6,0	3,0	18	2,0	4,4	2,3	10	1,9	4,7	1,3	6	3,5	15,1	12,0	181	1,3		
	3	3,3				7,0				2,0	4,3	9	0,5	5,8	3,0	17	1,9	6,0	3,0	18	2,0	13,8	20,7	285	0,7		
	4	2,7				6,7				5,3	4,0	21	1,3	1,6	1,0	2	1,6	3,3	1,7	6	2,0	10,3	16,0	164	0,6		
	5	2,3				7,0				3,7	4,7	17	0,8	1,2	0,7	1	1,8	1,0	1,3	1	0,8	5,9	16,0	94	0,4		
	6	2,7				8,0				0,0	4,7	0	0,0	2,4	2,3	6	1,0	3,0	0,3	1	9,0	5,4	18,0	97	0,3		
		17,3				38,0				23,0	23,0	529	1,0	19,0	15,7	298	1,2	22,7	13,3	302	1,7	64,7	107,3	6939	0,6		
4	1	4,0				2,2				2,3	2,4	6	1,0	3,8	3,6	14	1,1	1,3	0,6	1	2,2	7,5	11,2	84	0,7		
	2	2,0				3,0				5,0	3,8	19	1,3	6,6	4,2	28	1,6	3,0	1,8	5	1,7	14,6	14,8	216	1,0		
	3	1,6				4,0				1,7	5,4	9	0,3	4,8	4,8	23	1,0	5,7	4,4	25	1,3	12,1	20,2	245	0,6		
	4	3,2				2,8				1,3	2,4	3	0,6	5,6	4,0	22	1,4	0,3	1,6	1	0,2	7,3	14,0	102	0,5		
	5	3,2				4,0				3,0	2,2	7	1,4	4,4	3,4	15	1,3	0,7	1,0	1	0,7	8,1	13,8	111	0,6		
	6	3,2				3,2				2,3	2,8	7	0,8	0,0	5,2	0	0,0	2,0	1,6	3	1,3	4,3	16,0	69	0,3		
		15,6				19,2				15,7	19,0	298	0,8	25,2	25,2	635	1,0	13,0	11,0	143	1,2	53,9	90,0	4848	0,6		
5	1	1,0				0,0				1,3	1,0	1	1,3	1,2	1,7	2	0,7	3,3	2,3	8	1,4	5,9	6,0	35	1,0		
	2	1,7				1,3				4,0	4,3	17	0,9	3,4	2,7	9	1,3	7,3	2,7	20	2,8	14,7	12,7	187	1,2		
	3	3,3				3,3				2,7	5,3	14	0,5	4,6	3,0	14	1,5	4,0	4,0	16	1,0	11,3	19,0	214	0,6		
	4	3,0				5,7				1,7	4,3	7	0,4	0,4	1,7	1	0,2	3,3	3,3	11	1,0	5,4	18,0	97	0,3		
	5	3,3				3,3				1,7	3,7	6	0,5	0,4	1,7	1	0,2	3,3	3,0	10	1,1	5,4	15,0	81	0,4		
	6	3,3				4,3				2,0	4,0	8	0,5	1,0	2,3	2	0,4	0,0	6,0	0	0,0	3,0	20,0	80	0,2		
		15,7				18,0				13,3	22,7	302	0,6	11,0	13,0	143	0,8	21,3	21,3	455	1,0	45,7	90,7	4140	0,5		
Legende	i	Index für Bewertungselemente								A	Aktivsumme								DI	Dynamikindex							
	j	Index für Bewertungskriterien								P	Passivsumme								PI	Proaktivitätsindex							

Zum einen umfasst die Tabelle sowohl die Indikatoren für jedes einzelne Bewertungskriterium hinsichtlich der Bewertungselemente, als auch die Indikatoren für jedes Bewertungselement hinsichtlich der Bewertungselemente. Zum anderen ist das

¹⁸⁹ vgl. Kap. 2.3.2.3: Vorgehen zur Berechnung der Aktivsumme, Passivsumme, Dynamikindex und Proaktivitätsindex

Gesamtergebnis der Indikatoren für jedes Bewertungskriterium und für jedes Bewertungselement aufgeführt. Die grau eingefärbten Matrixeinträge verdeutlichen, dass aufgrund des Bewertungsprozesses keine Indikatoren existieren. Bei der Analyse wurden die genauen Zahlenwerte für die Matrixeinträge der Gesamt-Einflussmatrix (Tabelle 25) verwendet. Die Auswahl der Schlüsselfaktoren unterliegt einem subjektiven Auswahlprozess durch Experte²⁵, der das Analyseteam repräsentiert. Die maximale Anzahl (10) der abgeleiteten Schlüsselfaktoren resultiert in Abstimmung mit Experte²⁵, indem ein Drittel der 30 Bewertungskriterien als eine für diesen Anwendungsfall zielgerichtete Anzahl festgelegt ist.¹⁹⁰ Auf Grundlage des Auswahlprozesses der Schlüsselfaktoren nach Fink et al. (2002) sind circa 50% der Schlüsselfaktoren (5) entsprechend des Dynamikindex ausgewählt. Die weiteren 50% wurden mit Hilfe von Experte²⁵ unterteilt nach der Aktivsumme (2), der Passivsumme (1) und dem Proaktivitätsindex (1). Die Indikatoren des daraus hervorgehenden Vorschlags sind in der Tabelle in roter Schriftfarbe hervorgehoben. Zur Argumentation der Auswahl wurden die Auswahlkriterien¹⁹¹ herangezogen.

Aufgrund des hohen Dynamikindex wurden die Bewertungskriterien *Allgemeine Konsequenzen* (j=1) und *Realisierung Kundentermin* (j=3) des Bewertungselements *Erprobungskonzept* (i=3), *Plattformstrategie* (j=5) des Bewertungselements *Produktstrategie* (i=1), *Realisierung Kundentermin* (j=3) des Bewertungselements *Fertigungskonzept* (i=4) und *Kapazitätsbedarf* (j=4) des Bewertungselements *Produktdesign* (i=2) als Schlüsselfaktoren ausgewählt. Wegen der Aktivsumme wurden die Bewertungskriterien *Allgemeinen Konsequenzen* (j=1) und *Realisierungsaufwand* (j=2) des Bewertungselements *Produktdesign* (i=2) vorgeschlagen. Das Bewertungskriterium *Kundenstrategie* (j=2) des Bewertungselements *Produktstrategie* (i=1) hat den höchsten Proaktivitätsindex und wurde aus unternehmenspolitischer Sicht aufgenommen. Weiterhin weist das Bewertungskriterium *Realisierung des Kundentermins* (j=3) des Bewertungselements *Produktdesign* (i=2) einen hohen Proaktivitätsindex auf, das aufgrund der Vollständigkeit einzelner Themenkomplexe ausgewählt wurde. Zur Sicherstellung der Themenabdeckung war basierend auf der Passivsumme ein Bewertungskriterium des Bewertungselements *Beschaffungskonzept* (i=5) zu benennen. Hinsichtlich der Vollständigkeit einzelner Themenkomplexe wurde das Bewertungskriterium *Realisierung des Kundentermins* (j=3) bestimmt.

Bei der Auswahl der Schlüsselfaktoren liegt der Fokus ausschließlich auf den *Indikatoren der Bewertungskriterien in Bezug auf das Gesamtergebnis*. Die statischen Bewertungselemente sind vor den variablen Bewertungselementen zu bewerten,

¹⁹⁰ vgl. Kap. 2.3.2.3: Empfehlung zur Anzahl an Schlüsselfaktoren von bis zu 50%

¹⁹¹ vgl. Kap. 5.3

weswegen von den statischen Bewertungselementen aufgrund der zeitlichen Reihenfolge ein höherer Einfluss (Aktivsumme) ausgeht und diese weniger beeinflusst werden können (Passivsumme). Zudem kann bei den variablen Bewertungselementen eine höhere Beeinflussbarkeit (Passivsumme) und eine geringere Einflussnahme (Aktivsumme) im Vergleich zu den statischen Bewertungselementen angenommen werden. Um das Zielsystem einer Variante in der Angebotsphase genauer verstehen zu können, ist eine detaillierte Untersuchung der Analyseergebnisse empfehlenswert. Aus diesem Grund sind im Folgenden die Ergebnisse für die *Indikatoren der Bewertungselemente in Bezug auf das Gesamtergebnis* und *in Bezug auf die Bewertungselemente* sowie *der Bewertungskriterien in Bezug auf die Bewertungselemente* mit Fokus auf die größten Werte der Vergleiche für die Aktivsumme, die Passivsumme, den Dynamikindex und den Proaktivitätsindex beschrieben. Dabei ist zwischen den Indikatoren für die statischen und für die variablen Bewertungselemente unterschieden. Des Weiteren sind die Indikatoren innerhalb eines Bewertungselements verglichen. Die detaillierte Untersuchung ermöglicht die subjektive Auswahl auf Basis der Auswahlkriterien fundierter zu argumentieren und weitere Schlüsselfaktoren in die Diskussion für einen Vorschlag mit aufzunehmen.

Indikatoren der Bewertungselemente in Bezug auf das Gesamtergebnis

Beim Vergleich der Indikatoren der beiden statischen Bewertungselemente wird deutlich, dass der Dynamikindex des Bewertungselements *Produktdesign* (i=2) (6825) größer ist als der des Bewertungselements *Produktstrategie* (i=1) (3185). Dies ist der höheren Aktiv- und Passivsumme des Bewertungselements *Produktdesign* (i=2) geschuldet. Im Gegensatz dazu ist der Proaktivitätsindex des Bewertungselements *Produktstrategie* (i=1) (2,2) größer. Hinsichtlich der variablen Bewertungselemente dominiert der Dynamikindex des Bewertungselements *Erprobungskonzept* (i=3) (6939) gegenüber den Dynamikindizes der anderen Bewertungselemente. Dies ist durch die größte Aktiv- und Passivsumme begründet. Der höchste Proaktivitätsindex ist bei den Bewertungselementen *Erprobungskonzept* (i=3) (0,6) und *Fertigungskonzept* (i=4) (0,6) zu finden.

Indikatoren der Bewertungselemente in Bezug auf die Bewertungselemente

Mit Hinblick auf die statischen Bewertungselemente beeinflusst die Bewertung des Bewertungselements *Produktdesign* (i=2) die Bewertung des Bewertungselements *Erprobungskonzept* (i=3) am stärksten und die Bewertung des Bewertungselements *Erprobungskonzept* (i=3) wird dementsprechend am stärksten von der Bewertung des Bewertungselements *Produktdesign* (i=2) beeinflusst (größte Aktivsumme = größte Passivsumme=38,0). Das Bewertungselement *Produktstrategie* (i=1) hat ge-

genüber dem Bewertungselement *Produktdesign* (i=2) den größeren Proaktivitätsindex (1,4). Im Rahmen der variablen Bewertungselemente beeinflusst die Bewertung des Bewertungselements *Erprobungskonzept* (i=3) die Bewertung des Bewertungselements *Beschaffungskonzept* (i=5) mit der größten Aktivsumme (22,7). Die Bewertung des Bewertungselements *Beschaffungskonzept* (i=5) wird mit der größten Passivsumme (22,7) von der Bewertung des Bewertungselements *Erprobungskonzept* (i=3) beeinflusst. Demzufolge wurde der größte Dynamikindex (302) zwischen den Bewertungselementen *Erprobungskonzept* (i=3) und *Beschaffungskonzept* (i=5) analysiert. Der größte Proaktivitätsindex (1,7) wurde für das Bewertungselement *Erprobungskonzept* (i=3) zum Bewertungselement *Beschaffungskonzept* (i=5) identifiziert. Bei Betrachtung des Einflusses eines Bewertungselements auf sich selbst ist festzustellen, dass das Bewertungselement *Produktdesign* (i=2) die größte Aktiv- (28,0) und Passivsumme (28,0) und somit den größten Dynamikindex (784) aufweist.

Indikatoren der Bewertungskriterien in Bezug auf die Bewertungselemente

Unter den statischen Bewertungselementen ist das Bewertungskriterium *Plattformstrategie* (j=5) des Bewertungselements *Produktstrategie* (i=1) bezüglich des Bewertungselements *Produktdesign* (i=2) das Bewertungskriterium mit der größten Aktivsumme (9,0). Daraus folgt ebenfalls der größte Dynamikindex (54). Die Bewertung mit Hilfe des Bewertungskriteriums *Empfehlung* (j=6) des Bewertungselements *Erprobungskonzept* (i=3) wird am stärksten (8,0) und die Bewertung mit Hilfe des Bewertungskriteriums *Kundenstrategie* (j=2) des Bewertungselements *Produktstrategie* (i=1) wird überhaupt nicht (0,0) von dem Bewertungselement *Produktdesign* (i=2) beeinflusst. Folglich ist für das Bewertungskriterium *Kundenstrategie* (j=2, i=1) der Dynamikindex (0) am geringsten und der Proaktivitätsindex ist nicht existent. Der größte Proaktivitätsindex (1,6) wurde zwischen dem Bewertungskriterium *Allgemeine Konsequenzen* (j=1) des Bewertungselements *Produktstrategie* (i=1) und dem Bewertungselement *Produktdesign* (i=2) identifiziert. Bezüglich der variablen Bewertungselemente resultiert die größte Aktivsumme (6,0) für das Bewertungskriterium *Realisierung Kundentermin* (j=3) des Bewertungselements *Erprobungskonzept* (i=3) gegenüber dem Bewertungselement *Beschaffungskonzept* (i=5). Seitens der Validierung steht dem die größte Passivsumme (6,3) des Bewertungskriteriums *Allgemeine Konsequenzen* (j=1, i=3) hinsichtlich des Bewertungselements *Fertigungskonzept* (i=4) gegenüber. Für das Bewertungskriterium *Allgemeine Konsequenzen* (j=1) des Bewertungselements *Erprobungskonzept* (i=3) wurden bezüglich des Bewertungselements *Beschaffungskonzept* (i=5) der größte Dynamik- (26) und der größte Proaktivitätsindex (9,0) identifiziert. Mit Fokus auf den Einfluss der Bewertungen innerhalb eines Bewertungselements wird deutlich, dass

das Bewertungskriterium *Technische Realisierungsaufwand* ($j=2$) des Bewertungselements *Beschaffungskonzept* ($i=5$) vergleichsweise die größte Aktivsumme (7,2) hat. Das Bewertungskriterium *Empfehlung* ($j=6$) des Bewertungselements *Beschaffungskonzept* ($i=5$) weist die größte Passivsumme (6,0) auf. Das Bewertungskriterium *Erfahrung mit dem Kunden* ($j=3$, $i=1$) hat den größten Proaktivitätsindex (3,0) erhalten. Der höchste Dynamikindex (30) wurde für das Bewertungskriterium *Kapazitätsbedarf* ($j=4$) des Bewertungselements *Produktdesign* ($i=5$) identifiziert.

5.3.1.4 Direkte Analyse basierend auf dem EEF-Einfluss

Ein zweiter Vorschlag für Schlüsselfaktoren beruht auf der Untersuchung des Einflusses der Bewertungen mit Hilfe der Bewertungskriterien auf den EEF. In diesem Zusammenhang wurden die Vorzeichen der Matrixeinträge innerhalb der Gesamt-Einflussmatrix (Tabelle 25) sowie die Skalierung des EEF und der Bewertungskriterien¹⁹² berücksichtigt. Die Ergebnisskala des EEF ist aufsteigend positiv skaliert (0%=kein Potential, 100%=großes Potential). Die Bewertungskriterien *Empfehlung* ($j=6$) aller Bewertungselemente sowie die ersten fünf Bewertungskriterien ($j=1,2,3,4,5$) des Bewertungselements *Produktstrategie* ($i=1$) sind aufsteigend positiv skaliert. Sofern eine Variante empfohlen wird ($r_i=1$ für $j=6$), hat dies einen positiven Einfluss auf den EEF. Wird eine Variante nicht empfohlen ($r_i=0$ für $j=6$), hat dies einen negativen Einfluss auf den EEF. Die Ausprägung *sehr hoch* auf der Bewertungsskala für die ersten fünf Bewertungskriterien des Bewertungselements *Produktstrategie* ($i=1$) verdeutlicht einen positiven Beitrag zum EEF und die Ausprägung *sehr gering* einen negativen Beitrag. Die ersten fünf Bewertungskriterien ($j=1,2,3,4,5$) der technischen Bewertungselemente ($i=2,3,4,5$) sind aufsteigend negativ skaliert. Dementsprechend steht die Ausprägung *sehr hoch* auf der Bewertungsskala für einen negativen Beitrag zum EEF und die Ausprägung *sehr gering* für einen positiven Beitrag. Folglich implizieren positive Matrixeinträge für die Bewertungskriterien *Empfehlung* ($j=6$) der Bewertungselemente und die ersten fünf ($j=1,2,3,4,5$) des Bewertungselements *Produktstrategie* ($i=1$) einen positiven Gesamteinfluss auf den EEF und negative Matrixeinträge einen negativen Gesamteinfluss auf den EEF (unverändertes Vorzeichen). Hinsichtlich der ersten fünf Bewertungskriterien ($j=1,2,3,4,5$) der technischen Bewertungselemente ($i=2,3,4,5$) verdeutlichen positive Matrixeinträge einen negativen Gesamteinfluss auf den EEF und negative Matrixeinträge einen positiven Gesamteinfluss auf den EEF (umgekehrtes Vorzeichen). Beispielsweise hat die Bewertung mit Hilfe des Bewertungskriteriums *Realisierung Kundentermin* ($j=3$) des Bewertungselements *Fertigungskonzept* ($i=4$) einen Einfluss von 1,0 (vgl. Tabelle 25) auf die Bewertung mit Hilfe

¹⁹² vgl. Kap. 5.2

des Bewertungskriteriums *Realisierung Kundentermin* ($j=3$) des Bewertungselements *Beschaffungskonzept* ($i=5$). Wird der Aufwand zur Realisierung des Kundentermins seitens der Fertigung ($j=3$, $i=4$) hoch eingeschätzt, ist davon auszugehen, dass der Aufwand seitens des Einkaufs ($j=3$, $i=5$) ebenfalls hoch sein wird. Somit liegt ein negativer Gesamteinfluss auf den EEF vor (umgekehrtes Vorzeichen). (Albers, Peglow et al., 2019)

Der Einfluss auf den EEF (EEF-E) wurde für jedes Bewertungskriterium bestimmt (Tabelle 27), indem zeilenweise die Matrixeinträge der Tabelle 25 – unter Berücksichtigung eines möglichen Vorzeichenwechsels – aufsummiert wurden. Zur Summation wurden die genauen Zahlenwerte der Gesamt-Einflussmatrix verwendet. Durch Rundungen der aufgeführten Werte können diese von den Werten abweichen, die mit den genauen Zahlenwerten berechnet sind. Da die Matrixeinträge die subjektiven Einschätzungen der Experten verdeutlichen, sind die Abweichungen vernachlässigbar. Neben dem Gesamteinfluss (Σ), wurden auch der Einfluss der Bewertungen mit Hilfe der Bewertungskriterien und der Einfluss der Bewertungen der Bewertungselemente auf die Bewertungen der einzelnen Bewertungselemente kalkuliert. Die grau eingefärbten Matrixeinträge verdeutlichen die zeitliche Reihenfolge des Bewertungsprozesses. Die Berechnungen sind am Beispiel der Zahlenwerte des Bewertungselements *Beschaffungskonzept* ($i=5$) (Tabelle 24) erläutert, indem der Einfluss (-0,3) der Bewertung mit Hilfe des Bewertungskriteriums *Umsatz* ($j=4$) des Bewertungselements *Produktstrategie* ($i=1$) auf die Bewertung des Bewertungselements *Beschaffungskonzept* ($i=5$) betrachtet ist. Die Vorzeichen der Zahlenwerte (+0,0; +0,0; -0,3; +0,7; +1,0) für den Einfluss auf die Bewertungen mit Hilfe der ersten fünf Bewertungskriterien ($j=1,2,3,4,5$) des Bewertungselements *Beschaffungskonzept* ($i=5$) sind umzukehren: -0,0; -0,0; +0,3; -0,7; -1,0. Durch Summation ergibt dies einen Einfluss von -1,4 (genauer Wert: -1,3). Das Vorzeichen des Zahlenwerts (+1,0) für den Einfluss auf die Bewertung mit Hilfe des Bewertungskriteriums *Empfehlung* ($j=6$) des Bewertungselements *Beschaffungskonzept* ($i=5$) bleibt unverändert: +1,0. Aus dem Delta der genauen Summe (-1,3) und dem Einfluss auf die Bewertung mit Hilfe des Bewertungskriteriums *Empfehlung* ($j=6$, $i=5$) (+1,0) geht der Einfluss auf den EEF (EEF-E) von -0,3 hervor. Folglich hat eine hohe Bewertung mit Hilfe des Bewertungskriteriums *Umsatz* ($j=4$, $i=1$) einen leicht negativen Effekt auf den berechneten EEF-Wert für das Bewertungselement *Beschaffungskonzept* ($i=5$). Durch zeilenweise Summation des Einflusses auf den EEF für jedes Bewertungselement (5,0 für $i=1$, -0,4 für $i=2$, -1,7 für $i=3$, -2,0 für $i=4$, -0,3 für $i=5$) resultiert der Gesamteinfluss (Σ) des Bewertungskriteriums *Umsatz* ($j=4$, $i=4$) auf den EEF mit 0,6. Dies verdeutlicht, dass eine hohe Bewertung mit Hilfe des Bewertungskriteriums *Umsatz* ($j=4$, $i=1$) einen positiven Effekt auf den berechneten EEF-Wert hat.

Tabelle 27: Direkte Analyse basierend auf dem EEF-Einfluss (EEF-E) (Albers, Peglow et al., 2019)

i	1	2	3	4	5	Σ	
	EEF-E	EEF-E	EEF-E	EEF-E	EEF-E		EEF-E
1	1	4,0	1,6	-2,3	-0,4	-0,3	2,5
	2	1,0	-1,8	-2,0	0,6	0,3	-1,9
	3	3,0	4,8	0,7	0,6	3,7	12,7
	4	5,0	-0,4	-1,7	-2,0	-0,3	0,6
	5	2,0	9,0	4,7	7,4	5,3	28,4
	6	0,0	3,4	4,0	1,4	1,7	10,5
		15,0	16,6	3,3	7,6	10,3	52,9
2	1	-1,0	-7,0	-6,3	-6,4	-5,3	-26,1
	2	-2,0	-7,0	-7,3	-2,8	-3,7	-22,8
	3	-5,0	-3,6	-4,3	-5,4	-3,3	-21,7
	4	-4,0	-5,2	-7,3	-1,4	-3,7	-21,6
	5	-3,0	-5,2	-5,3	-0,8	-0,7	-15,0
	6	5,0	0,0	7,3	2,4	0,7	15,4
		-10,0	-28,0	-23,3	-14,4	-16,0	-91,7
3	1			-6,0	-3,6	-4,7	-14,3
	2			-6,0	-4,4	-4,7	-15,1
	3			-2,0	-5,8	-6,0	-13,8
	4			-5,3	-1,6	-3,3	-10,3
	5			-3,7	-1,2	-1,0	-5,9
	6			0,0	2,4	3,0	5,4
				-23,0	-14,2	-16,7	-53,9
4	1			-2,3	-3,8	-1,3	-7,5
	2			-5,0	-6,6	-3,0	-14,6
	3			-1,7	-4,8	-5,7	-12,1
	4			-1,3	-5,6	-0,3	-7,3
	5			-3,0	-4,4	-0,7	-8,1
	6			2,3	0,0	2,0	4,3
				-11,0	-25,2	-9,0	-45,2
5	1			-1,3	-1,2	-3,3	-5,9
	2			-4,0	-3,4	-7,3	-14,7
	3			-2,7	-4,6	-4,0	-11,3
	4			-1,7	-0,4	-3,3	-5,4
	5			-1,7	-0,4	-3,3	-5,4
	6			2,0	1,0	0,0	3,0
				-9,3	-9,0	-21,3	-39,7

Legende	i	Index für Bewertungselemente
	j	Index für Bewertungskriterien
	EEF-E	Einfluss auf die EEF-Berechnung

Der Einfluss eines Bewertungselements auf den EEF wurde durch spaltenweise Summation des Einflusses der Bewertungen des betrachteten Bewertungselements auf die Bewertungen der weiteren Bewertungselemente bestimmt. Beispielsweise ist die Spaltensumme des Einflusses der Bewertungen (für $j=1,2,3,4,5,6$) des Bewertungselements *Beschaffungskonzept* ($i=5$) auf das Bewertungselement *Beschaffungskonzept* ($i=5$) $(-3,3, -7,3, -4,0, -3,3, -3,3, 0,0)$ gleich dem Einfluss der Bewertung des Bewertungselements *Beschaffungskonzept* ($i=5$) auf das Bewertungselement *Beschaffungskonzept* ($i=5$) $(-21,2)$ (genauer Wert: $-21,3$). Sofern die Auswirkungen innerhalb des Bewertungselements *Beschaffungskonzept* ($i=5$) im Mittel als hoch bewertet werden, hat dies eine Minderung des EEF-Werts für das Bewertungselement *Beschaffungskonzept* ($i=5$) zufolge. Der Gesamteinfluss des Bewertungselements *Beschaffungskonzept* ($i=5$) auf den EEF-Wert ist die Zeilensumme des Einflusses des Bewertungselements *Beschaffungskonzept* ($i=5$) auf die variablen Bewertungselemente $(-9,3$ für $i=3$, $-9,0$ für $i=4$, $-21,3$ für $i=5$) und beträgt $39,6$ (genauer Wert: $39,7$).

Die Bewertungskriterien mit dem höchsten Betrag für den Gesamteinfluss (Σ) auf den EEF beeinflussen den berechneten EEF-Wert entscheidend. Die Bewertungskriterien mit dem höchsten Betrag sind mit roter Schriftfarbe gekennzeichnet, die den zweiten Vorschlag für Schlüsselfaktoren darstellen. Analog zum ersten Vorschlag basierend auf der Berechnung der Indikatoren wurde die maximale Anzahl an bestimmten Schlüsselfaktoren auf in Summe zehn Bewertungskriterien begrenzt. Für das Bewertungselement *Produktdesign* ($i=2$) wurden alle sechs Bewertungskriterien ($j=1,2,3,4,5,6$) ausgewählt. Der Gesamteinfluss auf den EEF des Bewertungselements *Produktdesign* ($i=2$) $(-91,7)$ verdeutlicht die dominante Rolle im Vergleich zu den weiteren Bewertungselementen. Der höchste Gesamteinfluss wurde für das Bewertungskriterium *Plattformstrategie* ($j=5$) des Bewertungselements *Produktstrategie* ($i=1$) identifiziert. Für die Bewertungselemente *Erprobungskonzept* ($i=3$) und *Beschaffungskonzept* ($i=5$) wurde jeweils das zweite Bewertungskriterium *Technischer Realisierungsaufwand* ($j=2$) aufgenommen, das die Bedeutung der Prüf- und Messtechnik (für $i=3$) sowie der Fertigungsverfahren und -prozesse beim Zulieferer (für $i=5$) aufzeigt. Zu den vorgeschlagenen Schlüsselfaktoren zählt auch das Bewertungskriterium *Realisierung Kundentermin* ($j=3$) des Bewertungselements *Fertigungskonzept* ($i=4$), das die Relevanz der Termineinhaltung für die Fertigung offenbart. (Albers, Peglow et al., 2019)

Kritisch zu betrachten ist der negative Gesamteinfluss der Bewertung mit Hilfe des Bewertungskriteriums *Kundenstrategie* ($j=2$) des Bewertungselements *Produktstrategie* ($i=1$), das ein Widerspruch zur aufsteigend positiven Skalierung des Bewertungskriteriums ist. Der negative Gesamteinfluss würde bedeuten, dass der EEF kleiner wird, wenn es sich um einen strategischen Kunden ($j=2$, $i=1$) der angefragten

Variante handelt. Unter der Annahme, dass ein strategischer Kunde für das Unternehmen nutzenstiftend ist, liegt in diesem Fall ein Widerspruch vor. Beobachtungen während der Erarbeitung der Einzel-Einflussmatrizen bestätigen, dass der Einfluss des Bewertungselements *Produktstrategie* ($i=1$) von den Experten unterschiedlich interpretiert wurde. (Albers, Peglow et al., 2019)

5.3.2 Indirekte Einflussanalyse der Wechselwirkungen

Bei der indirekten Einflussanalyse finden die Beziehungen zwischen den Bewertungskriterien Beachtung, die nicht unmittelbar in der direkten Gesamt-Einflussmatrix berücksichtigt wurden. Durch Unterstützung des Tools ScenarioManager™ wurde die indirekte Gesamt-Einflussmatrix generiert (Kapitel 5.3.2.1). Basierend auf Indikatoren (Kapitel 5.3.2.2) wurde ein dritter Vorschlag für Schlüsselfaktoren identifiziert und mit Hilfe des Tools ScenarioManager™ wurde ein vierter Vorschlag erstellt (Kapitel 5.3.2.3)

5.3.2.1 Indirekte Gesamt-Einflussmatrix

Um die indirekte Gesamt-Einflussmatrix (Tabelle 28) zu erhalten, wurde die direkte Gesamt-Einflussmatrix (Tabelle 25) in das Tool ScenarioManager™ importiert. Das Tool lässt ausschließlich die Skalierung (0,1,2,3) der Einflussanalyse im Rahmen der Szenariotechnik¹⁹³ zu, weswegen die Beträge der gerundeten Werte der direkten Gesamt-Einflussmatrix verwendet wurde. Werte der Gesamt-Einflussmatrix zwischen 0,5 und -0,5 haben den Wert 0 erhalten. Der Wert 1 beinhaltet alle Werte der Gesamt-Einflussmatrix zwischen 1,5 und einschließlich 0,5 sowie zwischen -1,5 und einschließlich -0,5. Der Wert 2 wird repräsentiert durch Werte der Gesamt-Einflussmatrix zwischen 2,5 und einschließlich 1,5 sowie zwischen -2,5 und einschließlich -1,5. Der Wert 3 findet an dieser Stelle keine Anwendung. Die Vorzeichen der Matrixeinträge bleiben demzufolge unberücksichtigt. Ein Beispiel ist der Wert der Gesamt-Einflussmatrix (Tabelle 25) -0,7 für den Einfluss der Bewertung mit Hilfe des Bewertungskriteriums *Plattformstrategie* ($j=5$) des Bewertungselements *Produktstrategie* ($i=1$) auf die Bewertung mit Hilfe des Bewertungskriteriums *Allgemeine Konsequenzen* ($j=1$) des Bewertungselements *Beschaffungskonzept* ($i=5$). Der Wert (-0,7) wurde gerundet und als Betrag mit dem Wert 1 in das Tool ScenarioManager™ eingegeben. Das Tool hat automatisch jeden Matrixeintrag der direkten Gesamt-Einflussmatrix überprüft, ob eine indirekte Beziehung zwischen den Bewertungskriterien existiert. Ist die Wirkungskette der indirekten Beziehung stärker als die direkte Beziehung, wird der entsprechende Matrixeintrag durch den berechneten

¹⁹³ vgl. Kap. 2.3.2.3

Wert der indirekten Beziehung ersetzt. Mit Hilfe eines Abschwächungsfaktors verliert der berechnete Wert mit zunehmender Länge der Wirkungskette an Wertigkeit. In diesem Anwendungsfall wurde ein Abschwächungsfaktor von 0,75 gewählt, der standardmäßig in dem Tool vorgeschlagen ist. Für detaillierte Informationen und Berechnungen sei auf weiterführende Literatur verwiesen (vgl. Fink & Siebe, 2013). An den Dezimalzahlen in der Tabelle wird deutlich, welche Matrixeinträge korrigiert wurden. Zum Beispiel liegt ein korrigierter Matrixeintrag für den Einfluss der Bewertung mit Hilfe des Bewertungskriteriums *Allgemeine Konsequenzen* (j=1) des Bewertungselements *Produktstrategie* (i=1) auf die Bewertung mit Hilfe des Bewertungskriteriums *Realisierung Kundentermin* (j=3) des Bewertungselements *Produktdesign* (i=2) mit einem Wert von 0,5 vor. In der direkten Gesamt-Einflussmatrix beträgt der gerundete Betrag des Einflusses 0.

Tabelle 28: Indirekte Gesamt-Einflussmatrix

i	j	1						2						3						4						5									
		1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6				
1	1	0	0,25	0,5	1	2	1	1	1	0,5	1	0,5	1	1	1	0,5	1	1	1	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	1	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5				
	2	0,5	0	0,25	1	1	0,25	0,25	1	0,25	1	1	1	1	1	0,25	1	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,5	0,12	0,25	0,5	0,5	0,25	0,5					
	3	1	0,06	0	0,25	1	1	0,5	1	1	1	1	1	1	0,25	0,25	1	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,5	0,25	0,25	0,25	1	1	1	0,5					
	4	2	1	0,25	0	1	1	1	0,5	0,25	0,5	1	1	0,5	0,5	0,25	0,5	0,5	0,5	1	0,5	0,25	0,25	1	1	0,5	0,25	0,25	1	1	1				
	5	1	0,06	1	0,25	0	0,5	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,5	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1				
	6	0,25	0,06	0,25	0,25	0,25	0	0,25	1	0,25	1	1	1	1	1	1	0,5	1	1	1	0,25	0,25	0,5	0,25	0,25	0,25	1	1	0,5	0,25	1				
2	1	0,25	0,12	0,5	0,5	1	0,5	0	1	1	2	2	1	1	0,25	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1					
	2	0,25	0,12	0,5	0,5	1	1	1	0	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	0,25	0,5	1	1	1	1	1	0,5	0,25	0,5	1				
	3	1	0,25	1	1	1	1	1	0,5	0	1	1	1	1	1	0,25	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,25	1	1	0,5	1	2				
	4	0,5	0,25	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0,25	2	1	1	1	1	0,5	0,5	1	0,5	0,25	0,5	0,5	0,5	0,5	1	1			
	5	0,25	0,06	1	0,25	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0,25	0,5	1	1	1	1	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,5			
	6	1	0,25	1	1	1	1	1	0,5	0,5	0,25	0,25	0,25	0	1	1	1	1	1	1	0,25	0,25	0,5	0,25	0,25	0,25	0,5	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25			
3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1				
	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	1	0,25	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,5	0,25	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	0,25	0,25	1	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	1	1	0,5	1	0,5	
	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	1	0,25	0,25	1	0,25	0,25	0,25	0,25	0,5	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	
	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,5	0,25	0,25	0,25	0,25	0	0,25	1	1	0,25	0,25	0,25	0,25	0,5	0,25	0,25	0,25	0,25	1	1	0,5
4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,5	
	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	1	1	0,5	1	1	0	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0,25	1	0,25	0,25	0,25	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0,5	0,5	0,5	0,25	0,5	1	2	1	0	1	1	0,5	0,5	0,25	0,25	0,5	0,5	0,25	0,25	0,5	0,25
	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	1	1	1	0	1	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,5	0,12	0,12	0	0,25	0,25	1	0,25	0,25	1	0,25	0,25	0,25
5	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,25	0,12	0,25	0,25	0,25	0,12	0,25	0,5	0,5	1	0,25	0,25	0	1	1	1	0,5	1	1	0,5	1	
	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0,25	1	1	0,5	0,25	0,25	1	1	1	0,25	0,5	1	1	0	2	1	1	2	2	2	2
	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0,25	1	0,25	1	0,25	0,5	1	2	0,5	0,5	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1
	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,12	0,12	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	1	0	1	1
	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	
	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	

Legende	i	Index für Bewertungselemente	j	Index für Bewertungskriterien	0/1/2	kein/ geringer/ mittlerer Einfluss
----------------	---	------------------------------	---	-------------------------------	-------	------------------------------------

5.3.2.2 Indirekte Analyse basierend auf Indikatoren

Der dritte Vorschlag für Schlüsselfaktoren basiert auf der Berechnung der Indikatoren *Aktivsumme* (A), *Passivsumme* (P), *Dynamikindex* (DI), *Proaktivitätsindex* (PI)¹⁹⁴ entsprechend der direkten Analyse für die indirekte Gesamt-Einflussmatrix (Tabelle 29).

Tabelle 29: Indirekte Analyse basierend auf Indikatoren

i	1				2				3				4				5				Gesamt							
	A	P	DI	PI	A	P	DI	PI	A	P	DI	PI	A	P	DI	PI	A	P	DI	PI	A	P	DI	PI				
1	1	4,8	4,8	23	1,0	5,0	3,3	16	1,5	5,5					3,5										21,8	8,0	174	2,7
	2	2,3	1,4	3	1,6	5,3	1,1	6	5,0	3,0				2,0			2,1								14,6	2,5	36	5,9
	3	3,3	2,3	7	1,5	5,5	5,0	28	1,1	2,3				2,0			4,0								17,1	7,3	124	2,4
	4	5,3	2,8	14	1,9	4,3	4,3	18	1,0	2,8				4,3			3,8								20,3	7,0	142	2,9
	5	2,8	4,5	13	0,6	8,0	6,0	48	1,3	5,5				7,0			6,0								29,3	10,5	308	2,8
	6	1,1	3,8	4	0,3	4,5	5,5	25	0,8	5,5				1,8			3,3								16,1	9,3	149	1,7
		19,4	19,4	378	1,0	32,5	25,1	814	1,3	24,5				20,5			22,1								119,1	44,5	5295	2,7
2	1	2,9	5,8	17	0,5	7,0	4,5	32	1,6	5,3				6,0			5,8								26,9	10,3	275	2,6
	2	3,4	5,8	19	0,6	7,0	4,0	28	1,8	6,0				4,3											26,4	9,8	257	2,7
	3	5,3	4,0	21	1,3	4,5	4,3	19	1,1	5,3				6,3			4,5								25,8	8,3	212	3,1
	4	4,8	5,5	28	0,9	5,0	6,3	31	0,8	6,3				3,5			5,8								25,3	11,8	297	2,1
	5	3,6	5,5	20	0,6	5,0	6,3	31	0,8	4,8				1,8			2,0								17,1	11,8	200	1,5
	6	5,3	6,0	32	0,9	1,8	5,0	9	0,4	8,0				2,8			1,8								17,5	11,0	193	1,6
		25,1	32,5	814	0,8	30,3	30,3	915	1,0	33,5				24,5			25,5								138,8	62,8	8710	2,2
3	1		4,8				6,0			5,0	4,0	20	1,3	4,0	7,0	28	0,6	5,3	5,3	28	1,0			14,3	27,0	385	0,5	
	2		4,0				3,0			5,0	3,5	18	1,4	5,3	3,3	17	1,6	5,3	1,4	7	3,8			15,5	15,1	234	1,0	
	3		4,3				6,5			3,8	4,3	16	0,9	7,0	3,3	23	2,2	6,5	3,0	20	2,2			17,3	21,3	367	0,8	
	4		4,0				6,0			5,0	4,3	21	1,2	2,3	2,5	6	0,9	4,0	2,3	9	1,8			11,3	19,0	214	0,6	
	5		3,5				6,0			5,0	4,3	21	1,2	2,3	1,8	4	1,3	1,8	2,5	4	0,7			9,0	18,0	162	0,5	
	6		4,0				6,0			1,5	5,0	8	0,3	3,3	2,5	8	1,3	4,8	1,4	7	3,5			9,5	18,9	179	0,5	
		24,5				33,5			25,3	25,3	638	1,0	24,0	20,3	486	1,2	27,5	15,7	433	1,7			76,8	119,2	9152	0,6		
4	1		3,3				3,3			2,3	3,0	7	0,8	4,3	3,5	15	1,2	2,3	1,8	4	1,3			8,8	14,8	129	0,6	
	2		2,8				4,3			6,5	4,5	29	1,4	7,0	5,3	37	1,3	4,5	3,3	15	1,4			18,0	20,0	360	0,9	
	3		3,3				4,8			3,0	7,0	21	0,4	5,0	5,5	28	0,9	6,0	5,3	32	1,1			14,0	25,8	361	0,5	
	4		3,3				3,3			3,3	3,0	10	1,1	6,0	4,1	25	1,5	2,3	3,3	7	0,7			11,5	16,9	194	0,7	
	5		3,3				4,0			3,0	3,0	9	1,0	4,3	3,4	14	1,3	1,5	1,4	2	1,0			8,8	15,1	132	0,6	
	6		4,8				5,0			2,3	3,5	8	0,6	1,2	6,0	7	0,2	3,0	2,4	7	1,3			6,5	21,6	140	0,3	
		20,5				24,5			20,3	24,0	486	0,8	27,7	27,7	770	1,0	19,5	17,3	337	1,1			67,5	114,0	7697	0,6		
5	1		2,4				1,5			1,2	1,8	2	0,7	2,8	3,3	9	0,8	4,5	3,5	16	1,3			8,5	12,4	105	0,7	
	2		2,5				2,3			4,0	5,3	21	0,8	4,0	3,3	13	1,2	8,0	4,3	34	1,9			16,0	17,5	280	0,9	
	3		4,3				4,3			3,8	6,5	24	0,6	5,5	3,3	18	1,7	5,0	4,8	24	1,1			14,3	23,0	328	0,6	
	4		4,5				7,3			2,3	4,5	10	0,5	1,6	3,3	5	0,5	4,3	3,5	15	1,2			8,1	23,0	187	0,4	
	5		4,0				4,5			2,3	4,8	11	0,5	1,2	3,3	4	0,4	3,8	4,8	18	0,8			7,2	21,3	153	0,3	
	6		4,5				5,8			2,3	4,8	11	0,5	2,3	3,3	7	0,7	1,3	6,0	8	0,2			5,8	24,3	139	0,2	
		22,1				25,5			15,7	27,5	433	0,6	17,3	19,5	337	0,9	26,8	26,8	716	1,0			89,8	121,4	7257	0,5		

Legende	i	Index für Bewertungselemente	A	Aktivsumme	DI	Dynamikindex
	j	Index für Bewertungskriterien	P	Passivsumme	PI	Proaktivitätsindex

Die Tabelle umfasst die Indikatoren für jedes einzelne Bewertungskriterium hinsichtlich der Bewertungselemente und die Indikatoren für jedes Bewertungselement hinsichtlich der Bewertungselemente. Zudem ist das Gesamtergebnis der Indikatoren

¹⁹⁴ vgl. Kap. 2.3.2.3: Vorgehen zur Berechnung der Aktivsumme, Passivsumme, Dynamikindex und Proaktivitätsindex

für jedes Bewertungskriterium und für jedes Bewertungselement aufgeführt. Der dritte Vorschlag für Schlüsselfaktoren geht aus dem subjektiven Auswahlprozess unter Berücksichtigung der Auswahlkriterien¹⁹⁵ mit Experte25 als Repräsentant des Analyseteams hervor. Aufgrund der Einheitlichkeit zur direkten Analyse wurden zehn Schlüsselfaktoren ausgewählt. Davon wurden fünf Bewertungskriterien abhängig von dem Dynamikindex, jeweils zwei Bewertungskriterien abhängig von der Aktivsumme und dem Proaktivitätsindex sowie ein Bewertungskriterium abhängig von der Passivsumme bestimmt. Für die als Schlüsselfaktoren ausgewählten Bewertungskriterien sind die ausschlaggebenden Indikatoren in der Tabelle mit roter Schriftfarbe gekennzeichnet.

Aufgrund des hohen Dynamikindex wurden die Bewertungskriterien *Allgemeine Konsequenzen* (j=1) und *Realisierung Kundentermin* (j=3) des Bewertungselements *Erprobungskonzept* (i=3), *Technische Realisierungsaufwand* (j=2) und *Realisierung Kundentermin* (j=3) des Bewertungselements *Fertigungskonzept* (i=4) sowie *Realisierung Kundentermin* (j=3) des Bewertungselements *Beschaffungskonzept* (i=5) ausgewählt. Hinsichtlich einer hohen Aktivsumme wurden die Bewertungskriterien *Plattformstrategie* (j=5) des Bewertungselements *Produktstrategie* (i=1) und *Allgemeine Konsequenzen* (j=1) des Bewertungselements *Produktdesign* (i=2) identifiziert. Wegen des hohen Proaktivitätsindex wurde zum einen das Bewertungskriterium *Realisierung Kundentermin* (j=3) des Bewertungselements *Produktdesign* (i=2) bestimmt. Zum anderen zählt das Bewertungskriterium *Kundenstrategie* (j=2) des Bewertungselements *Produktstrategie* (i=1) dazu. Das Bewertungskriterium *Technische Realisierungsaufwand* (j=2) des Bewertungselements *Beschaffungskonzept* (i=1) wurde hinsichtlich der Passivsumme, der Vollständigkeit der Themenkomplexe und der Akzeptanz des Analyseteams aufgenommen.

Als Grundlage für den Vorschlag dienten ausschließlich die *Indikatoren der Bewertungskriterien in Bezug auf das Gesamtergebnis*. Für ein fundiertes Verständnis der modellierten Wechselwirkungen innerhalb des Zielsystems einer Variante gilt analog zur direkten Analyse, dass eine detaillierte Untersuchung der Analyseergebnisse empfehlenswert ist. Im Folgenden sind die Ergebnisse für die *Indikatoren der Bewertungselemente in Bezug auf das Gesamtergebnis* und *in Bezug auf die Bewertungselemente* sowie *der Bewertungskriterien in Bezug auf die Bewertungselemente* mit Fokus auf die größten Werte der Vergleiche für die Aktivsumme, die Passivsumme, den Dynamikindex und den Proaktivitätsindex beschrieben. Dabei

¹⁹⁵ vgl. Kap. 5.3

sind die Indikatoren hinsichtlich der statischen und der variablen Bewertungselemente sowie die Indikatoren innerhalb eines Bewertungselements differenziert betrachtet.

Indikatoren der Bewertungselemente in Bezug auf das Gesamtergebnis

Unter den statischen Bewertungselementen dominiert hinsichtlich eines höheren Dynamikindex, einer höheren Aktiv- und Passivsumme das Bewertungselement *Produktdesign* (i=2) gegenüber dem Bewertungselement *Produktstrategie* (i=1). Beim Proaktivitätsindex weist das Bewertungselement *Produktstrategie* (i=1) einen höheren Wert auf. Im Rahmen der variablen Bewertungselemente hat das Bewertungselement *Erprobungskonzept* (i=3) den größten Dynamikindex (9152) und die größte Aktivsumme (76,8). Das Bewertungselement *Beschaffungskonzept* (i=5) hat im Gegensatz dazu die höchste Passivsumme (121,4). Das Bewertungselement *Fertigungskonzept* (i=4) hat gemeinsam mit dem Bewertungselement *Erprobungskonzept* (i=3) den höchsten Proaktivitätsindex (0,6).

Indikatoren der Bewertungselemente in Bezug auf die Bewertungselemente

Beim Vergleich der Indikatoren der beiden statischen Bewertungselemente wird deutlich, dass die Bewertung des Bewertungselements *Produktstrategie* (i=1) die Bewertung des Bewertungselements *Produktdesign* (i=2) stärker beeinflusst und dass die Bewertung des Bewertungselements *Produktdesign* (i=2) von der Bewertung des Bewertungselements *Produktstrategie* (i=1) stärker beeinflusst wird (größte Aktivsumme = größte Passivsumme=32,5). Das Bewertungselement *Produktstrategie* (i=1) hat den größeren Proaktivitätsindex (1,3). Bezüglich der variablen Bewertungselemente ist der Dynamikindex zwischen dem Bewertungselement *Erprobungskonzept* (i=3) und dem Bewertungselement *Fertigungskonzept* (i=4) am größten (486). Die größte Aktivsumme (27,5) geht von dem Bewertungselement *Erprobungskonzept* (i=3) hinsichtlich des Bewertungselements *Beschaffungskonzept* (i=5) aus, das der größten Passivsumme von dem Bewertungselement *Beschaffungskonzept* (i=5) hinsichtlich des Bewertungselements *Erprobungskonzept* (i=3) entspricht. Der größte Proaktivitätsindex ist beim Bewertungselement *Erprobungskonzept* (i=3) bezüglich des Bewertungselements *Beschaffungskonzept* (i=5) zu finden. Mit Fokus auf den Einfluss innerhalb eines Bewertungselements wird deutlich, dass dem Bewertungselement *Produktdesign* (i=2) der größte Dynamikindex (915) sowie die größte Aktiv- und Passivsumme (30,3) zugeordnet ist.

Indikatoren der Bewertungskriterien in Bezug auf die Bewertungselemente

Mit Hinblick auf die statischen Bewertungselemente wurde für das Bewertungskriterium *Plattformstrategie* ($j=5$) des Bewertungselements *Produktstrategie* ($i=1$) bezüglich des Bewertungselements *Produktdesign* ($i=2$) der größte Dynamikindex (48), die größte Aktivsumme (8,0) und die größte Passivsumme (6,0) identifiziert. Darüber hinaus hat das Bewertungskriterium *Empfehlung* ($j=6$) des Bewertungselements *Produktdesign* ($i=2$) bezüglich des Bewertungselements *Produktstrategie* ($i=1$) ebenfalls die größte Passivsumme (6,0). Der größte Proaktivitätsindex (5,0) gehört zu dem Bewertungskriterium *Kundenstrategie* ($j=2$) des Bewertungselements *Produktstrategie* ($i=1$) in Bezug auf das Bewertungselement *Produktdesign* ($i=2$). Hinsichtlich der variablen Bewertungselemente geht für das Bewertungskriterium *Realisierung Kundentermin* ($j=3$) des Bewertungselements *Fertigungskonzept* ($i=4$) der größte Dynamikindex (32) gegenüber dem Bewertungselement *Beschaffungskonzept* ($i=5$) und die größte Passivsumme (7,0) gegenüber dem Bewertungselement *Erprobungskonzept* ($i=3$) hervor. Ebenfalls ist die größte Passivsumme (7,0) bei dem Bewertungskriterium *Allgemeine Konsequenzen* ($j=1$) des Bewertungselements *Erprobungskonzept* ($i=3$) zum Bewertungselement *Fertigungskonzept* ($i=4$) zu finden. Im Rahmen des Bewertungselements *Erprobungskonzept* ($i=3$) hat das Bewertungskriterium *Technische Realisierungsaufwand* ($j=2$) in Bezug auf das Bewertungselement *Beschaffungskonzept* ($i=5$) den größten Proaktivitätsindex (3,8) und das Bewertungskriterium *Realisierung Kundentermin* ($j=3$) in Bezug auf das Bewertungselement *Fertigungskonzept* ($i=4$) die größte Aktivsumme. Bei Betrachtung des Einflusses der Bewertungen eines Bewertungselements auf sich selbst, ist festzustellen, dass das Bewertungskriterium *Technische Realisierungsaufwand* ($j=2$) des Bewertungselements *Fertigungskonzept* ($i=4$) den größten Dynamikindex (37) umfasst. Die größten Proaktivitätsindizes (1,9) sind den Bewertungskriterien *Umsatz* ($j=4$) des Bewertungselements *Produktstrategie* ($i=1$) und *Technische Realisierungsaufwand* ($j=2$) des Bewertungselements *Beschaffungskonzept* ($i=5$) zugeordnet. Weiterhin gehört zu dem Bewertungskriterium *Technische Realisierungsaufwand* ($j=2$, $i=5$) auch die größte Aktivsumme (8,0). Die größte Passivsumme (6,3) haben die Bewertungskriterien *Kapazitätsbedarf* ($j=4$) und *Kosten* ($j=5$) des Bewertungselements *Produktdesign* ($i=2$).

5.3.2.3 Indirekte Analyse basierend auf einem System-Grid

Ein vierter Vorschlag für Schlüsselfaktoren wurde mit Hilfe des Tools ScenarioManager™ generiert (Abbildung 5.8). Der Vorschlag beruht auf der generierten indirekten Gesamt-Einflussmatrix (Tabelle 28). Die Bewertungskriterien sind in einem System-Grid¹⁹⁶ dargestellt, in welchem - basierend auf den absoluten Werten - die

¹⁹⁶ vgl. exemplarische Darstellungsform eines System-Grids nach Fink und Siebe (2016, S. 81)

korrespondierende Aktivsumme gegenüber der Passivsumme abgebildet ist.¹⁹⁷ Das Tool hat für die Bewertungskriterien die Aktivsumme (A), die Passivsumme (P) und den Dynamikindex (DI) berechnet, die den berechneten Indikatoren der indirekten Analyse¹⁹⁸ entsprechen. Als vierten Indikator hat das Tool die Hebelkraft (LE) (engl. Leverage) kalkuliert. Für genauere Informationen zur Darstellungsform eines System-Grids und zur Bedeutung der Hebelkraft sei auf weiterführende Literatur verwiesen (vgl. Fink & Siebe, 2013).

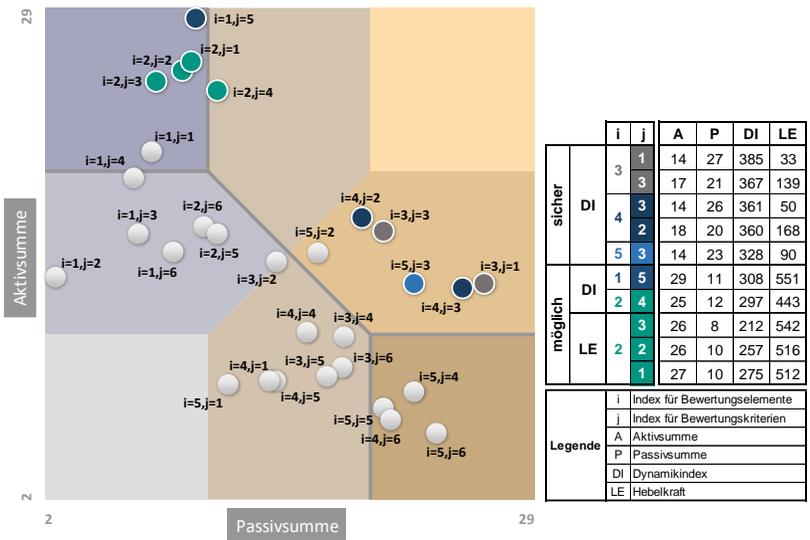


Abbildung 5.8: Indirekte Analyse basierend auf dem System-Grid (Albers, Peglow et al., 2019)

¹⁹⁷ vgl. Kap. 2.3.2.3: Vorgehen einer Einflussanalyse im Rahmen der Szenariotechnik mit den Berechnungen der Indikatoren und der Darstellung in Form eines System-Grids

¹⁹⁸ vgl. Kap. 5.3.2.2: Ergebnisse für die Berechnungen der Indikatoren im Rahmen der indirekten Analyse

Die vorgeschlagenen Schlüsselfaktoren sind in dem System-Grid (Abbildung 5.8: links) farblich hervorgehoben und die dazugehörigen Indikatoren sind mit gerundeten Werten in der Tabelle (Abbildung 5.8: rechts) aufgelistet. Aufgrund der Einheitlichkeit wurden in Summe zehn Schlüsselfaktoren identifiziert, die das Tool unter definierten Bedingungen generiert hat. Zu den Bedingungen zählt die anteilmäßige Aufteilung der Schlüsselfaktoren, die aus einer Abstimmung mit Experte²⁵ resultiert, als sichere und als mögliche Schlüsselfaktoren¹⁹⁹. (Albers, Peglow et al., 2019) Mit Hilfe des Dynamikindex wurden fünf Bewertungskriterien als sichere Schlüsselfaktoren bestimmt (absteigend sortiert): *Allgemeine Konsequenzen* (j=1) und *Realisierung Kundentermin* (j=3) des Bewertungselements *Erprobungskonzept* (i=3), *Realisierung Kundentermin* (j=3) und *Technischer Realisierungsaufwand* (j=2) des Bewertungselements *Fertigungskonzept* (i=4) sowie *Realisierung Kundentermin* (j=3) des Bewertungselements *Beschaffungskonzept* (i=5). Zudem wurden zwei Bewertungskriterien als mögliche Schlüsselfaktoren auf Basis des Dynamikindex ausgewählt (absteigend sortiert): *Plattformstrategie* (j=5) des Bewertungselements *Produktstrategie* (i=1) und *Kapazitätsbedarf* (j=4) des Bewertungselements *Produktdesign* (i=2). Eine weitere Bedingung war die Identifikation von drei Bewertungskriterien als mögliche Schlüsselfaktoren mit Hilfe der Hebelkraft (absteigend sortiert): *Realisierung Kundentermin* (j=3), *Realisierungsaufwand* (j=2) und *Allgemeine Konsequenzen* (j=1) des Bewertungselements *Produktdesign* (i=2). (Albers, Peglow et al., 2019)

5.3.3 Vergleich der Vorschläge für Schlüsselfaktoren

Die vier Vorschläge für Schlüsselfaktoren wurden gegenübergestellt, um die finalen Schlüsselfaktoren zu bestimmen (Tabelle 30). Die ersten beiden Vorschläge gehen aus der direkten Analyse hervor, die zum einen auf berechneten Indikatoren (Vorschlag 1: Tabelle 26) und zum anderen auf dem Einfluss auf den EEF (Vorschlag 2: Tabelle 27) basieren. Zwei weitere Vorschläge resultieren aus der indirekten Analyse, die zum einen auf der Berechnung von Indikatoren (Vorschlag 3: Tabelle 29) und zum anderen auf der Generierung eines System-Grids (Vorschlag 4: Abbildung 5.8) beruhen. Wurde ein Bewertungskriterium (j) eines Bewertungselements (i) im Rahmen einer der vier Vorschläge ausgewählt, ist in der Spalte des entsprechenden Vorschlags ein ✓ aufgeführt. Zum Beispiel hat das Bewertungskriterium *Kundenstrategie* (j=2) des Bewertungselements *Produktstrategie* (i=1) in den Spalten des ersten und des dritten Vorschlags ein ✓ erhalten, da das Bewertungskriterium in den dazugehörigen Analysen vorgeschlagen wurde. Die gekennzeichneten

¹⁹⁹ Abgrenzung von sicheren und möglichen Schlüsselfaktoren nach Fink und Siebe (2013)

Schlüsselfaktoren variieren zwischen den Vorschlägen, weswegen die Vorschläge mit Experte25 als Repräsentant des Analyseteams diskutiert wurden. Aus der Diskussion geht die finale Auswahl hervor.

Tabelle 30: Vergleich der Vorschläge für Schlüsselfaktoren (Albers, Peglow et al., 2019)

i	j	Direkte Analyse		Indirekte Analyse		Auswahlkriterium	Zieldimension
		1	2	3	4		
1	2	✓		✓		Unternehmenspolitischer Faktor	Härtegrad
	5	✓	✓	✓	✓	Konsistenter Vorschlag	Einfluss
	1	✓	✓	✓	✓	Konsistenter Vorschlag	Einfluss
2	2	✓	✓		✓	Akzeptanz des Analyseteams	Härtegrad
	3	✓	✓	✓	✓	Konsistenter Vorschlag	Hebelkraft
	4	✓	✓		✓	Akzeptanz des Analyseteams	Härtegrad
	5		✓				
	6		✓				
	1	✓		✓	✓		
3	2		✓				
	3	✓		✓	✓	Vollständigkeit einzelner Themenkomplexe	Reifegrad
	1			✓	✓		
4	2		✓	✓	✓	Akzeptanz des Analyseteams	Härtegrad
	3	✓			✓	Vollständigkeit einzelner Themenkomplexe	Reifegrad
	2		✓	✓	✓		
5	2	✓	✓	✓	✓		
	3	✓		✓	✓	Vollständigkeit einzelner Themenkomplexe	Reifegrad

Legende	i	Index für Bewertungselemente
	j	Index für Bewertungskriterien

Da die Auswahl einem subjektiven Auswahlprozess unterliegt, kann die Auswahl innerhalb des Unternehmens oder in anderen Unternehmen abweichen, wenn andere Teammitglieder bei der Auswahl involviert sind. Die final vorgeschlagenen Bewertungskriterien sind jeweils durch das Auswahlkriterium²⁰⁰ gekennzeichnet, das für die Auswahl ausschlaggebend war. Zusätzlich ist zu einem jeden Auswahlkriterium die adäquate Zieldimension²⁰¹ aufgeführt. (Albers, Peglow et al., 2019) Zu den vier Zieldimensionen zählt die Hebelkraft eines Bewertungskriteriums, das ein hohes Potential zur Beeinträchtigung weiterer Bewertungskriterien aufweist. Der Einfluss ist die zweite Dimension und beschreibt die Stärke der direkten und der indirekten Wechselwirkungen sowie die Vernetzung eines Bewertungskriteriums

²⁰⁰ vgl. Kap. 5.3

²⁰¹ vgl. Kap. 2.1.1.3: Erläuterungen zu den Zieldimensionen (Reifegrad, Härtegrad, Hebelwirkung, Einfluss) von Albers et al. (2011)

innerhalb des Zielsystems von Varianten. Der Reifegrad ist die dritte Dimension, die herangezogen wird, um unter anderem eine vollständige Abdeckung an Themen zu gewährleisten. Der Härtegrad unterstützt als vierte Dimension, wenn zum Beispiel aufgrund einer hohen Veränderlichkeit an einem Bewertungskriterium festgehalten wird.

Die Bewertungskriterien *Plattformstrategie* ($j=5$) des Bewertungselements *Produktstrategie* ($i=1$), *Allgemeine Konsequenzen* ($j=1$) und *Realisierung Kundentermin* ($j=3$) des Bewertungselements *Produktdesign* ($i=2$) wurden in allen vier Vorschlägen ausgewählt. Aufgrund dessen werden diese final vorgeschlagen. Ein spezifisches Auswahlkriterium findet keine Anwendung. Für die Auswahl des Bewertungskriteriums *Realisierung Kundentermin* ($j=3$, $i=2$) war die Hebelkraft ausschlaggebend. Die Auswahl der Bewertungskriterien *Plattformstrategie* ($j=5$, $i=1$) und *Allgemeine Konsequenzen* ($j=1$, $i=2$) wurde durch deren Einfluss im Zielsystem von Varianten begründet. Um die Vollständigkeit einzelner Themenkomplexe sicherzustellen, wurde das Bewertungskriterium *Realisierung Kundentermin* ($j=3$) für die Bewertungselemente *Erprobungskonzept* ($i=3$), *Fertigungskonzept* ($i=4$) und *Beschaffungskonzept* ($i=5$) mit dem Härtegrad ausgewählt. Der Härtegrad war für die Auswahl der Bewertungskriterien *Kundenstrategie* ($j=2$) des Bewertungselements *Produktstrategie* ($i=1$), *Kapazitätsbedarf* ($j=4$) des Bewertungselements *Produktdesign* ($i=2$) und *Technische Realisierungsaufwand* ($j=2$) des Bewertungselements *Fertigungskonzept* ($i=4$) entscheidend. Aufgrund der Akzeptanz des Analyseteams wurden die Bewertungskriterien *Kapazitätsbedarf* ($j=4$, $i=2$) und *Technische Realisierungsaufwand* ($j=2$, $i=4$) in die finale Auswahl aufgenommen. Das Bewertungskriterium *Kundenstrategie* ($j=2$, $i=1$) wurde ausschließlich in zwei Vorschlägen ausgewählt, wobei dieses aus unternehmenspolitischen Gründen als Schlüsselfaktor des finalen Vorschlags bestimmt wurde.

5.3.4 Erkenntnisse zur Modellierung der Wechselwirkungen

Die Erkenntnisse zu den Wechselwirkungen innerhalb der Zielsystems von Varianten sind im Folgenden aufgelistet und mit den Ergebnissen aus den Einflussanalysen und dem Vergleich beschrieben.

Das Bewertungselement Produktdesign ($i=2$) hat die größte Eigenkraft und den größten Einfluss auf den EEF. (Albers, Peglow et al., 2019)

Aufgrund der höchsten Werte für die Aktivsumme, den Dynamikindex und den Proaktivitätsindex weist die Bewertung des Bewertungselements *Produktdesign* ($i=2$) im Vergleich zu den Bewertungen der weiteren Bewertungselemente ($i=1,3,4,5$) den größten Einfluss und die stärkste Vernetzung im Zielsystem einer Variante auf. Der

berechnete Einfluss auf den EEF verdeutlicht, dass das Bewertungselement *Produktdesign* ($i=2$) eine entscheidende Rolle hinsichtlich der Bewertung einer Variante in der Angebotsphase spielt. (Albers, Peglow et al., 2019)

Das Bewertungselement Produktdesign ($i=2$) hat die größte Anzahl an final vorgeschlagenen Schlüsselfaktoren. (Albers, Peglow et al., 2019)

Die Bewertungskriterien *Allgemeine Konsequenzen* ($j=1, i=2$) und *Realisierung Kundentermin* ($j=3, i=2$) wurden in allen vier Vorschlägen als Schlüsselfaktoren ausgewählt. Die Bewertungskriterien *Realisierungsaufwand* ($j=2, i=2$) und *Kapazitätsbedarf* ($j=4, i=2$) wurden hinsichtlich der Akzeptanz des Auswahlteams in den finalen Vorschlag aufgenommen. Das Bewertungselement *Produktdesign* ($i=2$) weist die größte Anzahl an Schlüsselfaktoren auf, wodurch der Einfluss der Bewertungen mit Hilfe der einzelnen Bewertungskriterien des Bewertungselements *Produktdesign* ($i=2$) deutlich wird. Dadurch wird die zuvor beschriebene Erkenntnis unterstützt, dass das Bewertungselement *Produktdesign* ($i=2$) von entscheidender Bedeutung im Zielsystem einer Variante ist. (Albers, Peglow et al., 2019)

Die Auswahl des Bewertungskriteriums Kundenstrategie ($j=2$) des Bewertungselements Produktstrategie ($i=1$) als Schlüsselfaktor erfolgte aus unternehmenspolitischer Sicht. (Albers, Peglow et al., 2019)

Obwohl das Bewertungskriterium *Kundenstrategie* ($j=2$) des Bewertungselements *Produktstrategie* ($i=1$) ausschließlich in einem Vorschlag ausgewählt wurde, ist dieses in die finale Auswahl der Schlüsselfaktoren aufgrund eines unternehmenspolitischen Faktors aufgenommen. Dies spricht dafür, dass die Befriedigung der Kundenbedürfnisse bedeutsam für das Unternehmen ist, das durch den Härtegrad als Zieldimension gekennzeichnet ist. Folglich ist die Einführung einer Variante sowohl von den Auswirkungen auf die technischen Systeme, als auch von der strategischen Unternehmensausrichtung abhängig. Zur Bewertung einer Variante zählt somit die Überprüfung des Zielsystems einer Variante hinsichtlich den technischen Systeme und hinsichtlich der Produktstrategie. Aufgrund dessen umfasst die Berechnung des EEF die Abschätzung der technischen Aufwände sowie der strategischen Vorteile einer kundenspezifischen Variante. (Albers, Peglow et al., 2019)

Das Bewertungskriterium Realisierung Kundentermin ($j=3$) wurde für alle technischen Bewertungselemente ($i=2,3,4,5$) als Schlüsselfaktor bestimmt. (Albers, Peglow et al., 2019)

Zur Abdeckung aller Themenkomplexe beinhaltet der finale Vorschlag für Schlüsselfaktoren das Bewertungskriterium *Realisierung Kundentermin* ($j=3$) für die Be-

wertungselemente *Produktdesign* ($i=2$), *Erprobungskonzept* ($i=3$), *Fertigungskonzept* ($i=4$) und *Beschaffungskonzept* ($i=5$). Zusätzlich zu der Auswahl des Bewertungskriteriums *Kundenstrategie* ($j=2$, $i=1$) wird deutlich, dass die Befriedigung der Kundenbedürfnisse in allen Bewertungselementen repräsentiert ist. Die zugrunde gelegte Zieldimension ist deswegen der Reifegrad. Folglich ist davon auszugehen, dass der Fokus entlang des Wertstroms beim Anbieter auf dem Produktprofil der Variante liegt. (Albers, Peglow et al., 2019)

Das Bewertungskriterium Technischer Realisierungsaufwand ($j=2$) des Bewertungselements *Fertigungskonzept* ($i=4$) wurde beruhend auf einer geforderten Akzeptanz des Analyseteams ausgewählt. (Albers, Peglow et al., 2019)

Seit der Gründung hat das Fertigungskonzept eine bedeutende Relevanz für das betrachtete Unternehmen, weswegen das Analyseteam das Bewertungskriterium *Technischer Realisierungsaufwand* ($j=2$) des Bewertungselements *Fertigungskonzept* ($i=4$) final ausgewählt hat. Das Bewertungskriterium wird zudem durch einen hohen Härtegrad als Zieldimension verdeutlicht. (Albers, Peglow et al., 2019)

Die größte Passivsumme wurde für die Bewertungselemente Erprobungskonzept ($i=3$), *Fertigungskonzept* ($i=4$) und *Beschaffungskonzept* ($i=5$) identifiziert.

Die statischen Bewertungselemente *Produktstrategie* ($i=1$) und *Produktdesign* ($i=2$) sind im Rahmen des Bewertungsprozesses als erstes zu bewerten. Dementsprechend geht von diesen ein größerer Einfluss aus. Dagegen weisen die variablen Bewertungselemente ($i=3,4,5$) aufgrund der zeitlichen Reihenfolge eine größere Beeinflussbarkeit auf. Die Berechnungen der Passivsummen zeigen, dass die Bewertungselemente *Erprobungskonzept* ($i=3$), *Fertigungskonzept* ($i=4$) und *Beschaffungskonzept* ($i=5$) sich ebenfalls stark wechselseitig beeinflussen.

5.4 Fazit zur Bewertungssystematik für Common-Rail Pumpen

Das Kapitel 5 umfasst die Ergebnisse der Phase der Arbeit²⁰² *Konzeption der Bewertungssystematik*, in der die Bewertungssystematik mit dem Bewertungsprozess und der Methode zur Bewertung für die Angebotsphase entwickelt wurde sowie die

²⁰² vgl. Kap. 3.2

Wechselwirkungen innerhalb des Zielsystems von Varianten mit Hilfe der Bewertungssystematik modelliert wurden.

Bei der Entwicklung des Bewertungsprozesses²⁰³ haben in Summe vier Experten verschiedener Hierarchieebenen und Fachbereiche mitgewirkt. Mit drei dieser Experten wurden beispielhafte Anwender-, Anbieter- und Kundennutzen für das initiale Produktprofil als Teil des Zielsystems von Varianten diskutiert. Darüber hinaus haben diese drei Experten bei der Erarbeitung der Bewertungselemente unterstützt, die stellvertretend für die zu bewertenden Elemente des Referenzsystems einer angefragten Variante stehen. Die Prozessschritte des Bewertungsprozesses wurden mit weiteren drei Experten abgestimmt. Der Bewertungsprozess weist ein definiertes Maß an Flexibilität in strukturierter Form auf und setzt eine konsequente Versionierung von iterativen Bewertungen mit Hilfe eines durchgängigen Wissensmanagementsystems voraus. Die Experten sind aus unterschiedlichen Fachbereichen, wobei zur Überprüfung der Forschungsergebnisse weitere Experten, die vom Bewertungsprozess betroffen sind und die gegebenenfalls anderen Produktbereichen angehören, zu involvieren sind. Zu den variablen Bewertungselementen zählt das Bewertungselement *Logistikkonzept* ($i=6$), das aufgrund von Expertenaussagen nicht weiter berücksichtigt ist. Eine detaillierte Bedarfsanalyse dieses Bewertungselements und zusätzlicher Bewertungselemente wird empfohlen.

Bei der Entwicklung der Methode zur Bewertung²⁰⁴ haben in Summe 20 Experten verschiedener Hierarchieebenen und Fachbereiche unterstützt. 17 von den 20 Experten erarbeiteten die Bewertungshierarchie inklusive der Bewertungskriterien für die Bewertungselemente. Mit diesen Experten wurde auch die Bewertungslogik zur Bewertung der Bewertungselemente diskutiert. Bei den Bewertungen der Bewertungselemente unterstützen erarbeitete Bewertungsbögen, in denen die Bewertungskriterien und die Bewertungslogik abgebildet sind. Für den Bewertungsalgorithmus wurde ein Vorschlag für Gewichtungen erarbeitet, bei dem Experten ($n=20$) unterstützt haben. Zur Validierung der Ergebnisse wird der Einbezug weiterer Experten verschiedener Hierarchieebenen empfohlen. Durch Integration von Experten anderer Produktgenerationen können die Bewertungskriterien hinsichtlich der Redundanz, der Verständlichkeit und der Eindeutigkeit validiert werden. Die Bewertungshierarchie postuliert eine abschwächende Relevanz von der Ebene *Bewertungselemente* zu der Ebene *Bewertungskriterien*. Sofern beispielsweise ein Bewertungselement im Vergleich zu den anderen Bewertungselementen eine geringere Gewichtung aufweist, haben die dazugehörigen Bewertungskriterien einen weniger starken Einfluss auf das Gesamtergebnis als wenn die Bewertungskriterien

²⁰³ vgl. Kap. 5.1

²⁰⁴ vgl. Kap. 5.2

unabhängig von den Bewertungselementen anteilig in das Gesamtergebnis eingehen. Der Bewertungsalgorithmus basiert in seinem Grundgedanken auf einer Nutzwertanalyse. Aufgrund der Dynamik in der Angebotsphase und der multidimensionalen Ebenen der Bewertungshierarchie wurde die Nutzwertanalyse für diesen Anwendungsfall modifiziert. Die Bewertung der sechsten Bewertungskriterien der Bewertungselemente kann zu einer Anpassung der Ergebnisskala führen. In weiteren Forschungsprojekten ist zu untersuchen, ob die sechsten Bewertungskriterien stärker oder schwächer das Gesamtergebnis beeinflussen sollen. Eine weitere Möglichkeit besteht darin, Bewertungskriterien mit definierten Merkmalswerten zu belegen. Die Gewichtungen für die Bewertungselemente und die Bewertungskriterien wurden für die Systemumgebung der CP4 erarbeitet, weswegen diese als ein Vorschlag dienen und unternehmensspezifisch anpassbar sind.

In Summe haben 17 Experten verschiedener Hierarchieebenen und Fachbereiche bei der Modellierung der Wechselwirkungen innerhalb des Zielsystems von Varianten²⁰⁵ unterstützt. Diese haben direkte Einzel-Einflussmatrizen erarbeitet. Die Einzel-Einflussmatrizen wurden zu einer direkten Gesamt-Einflussmatrix zusammengeführt. Zur Evaluierung der Einzel-Einflussmatrizen sind darüber hinausgehende Experten heranzuziehen, sodass das Erfahrungswissen für diverse Produktgenerationen und Fachbereiche fundiert wiedergespiegelt wird. Aus der direkten Einflussanalyse und der indirekten Einflussanalyse resultieren jeweils zwei Vorschläge für Schlüsselfaktoren, die als entscheidende Bewertungskriterien des Zielsystems einer Variante identifiziert wurden. Bei Vorschlag 1 und Vorschlag 2 der direkten Einflussanalyse wurden keine indirekten Beziehungen berücksichtigt, wobei bei Vorschlag 2 eine Unterscheidung zwischen einem positiven und einem negativen Einfluss erfolgte. Die indirekte Gesamt-Einflussmatrix wurde mit Hilfe des Szenariotechnik-Tools ScenarioManagerTM generiert, indem die Matrixeinträge der direkten Gesamt-Einflussmatrix als Beträge und auf ganze Zahlen gerundet in das Tool eingegeben wurden. Der ScenarioManagerTM ist in der Forschungsumgebung als Szenariotechnik-Tool bekannt und fand deswegen in diesem Forschungsprojekt Anwendung. Der Einsatz von adäquaten Tools ist ebenfalls denkbar. Aufgrund der Anwendung der Einflussanalyse in der Praxis wurde nicht die in der Literatur vorgeschlagene Skalierung der Einflussanalyse (0,1,2,3)²⁰⁶ verwendet. Zur Vereinfachung forderten die Experten eine reduzierte Skala (0,1,2), was jedoch – abhängig von beispielsweise der Anzahl, der Art, der Kapazität und dem Erfahrungswissen der Experten – bedarfsgerecht zu handhaben ist. Bei Vorschlag 3 und Vorschlag 4 der indirekten Einflussanalyse wurden indirekte Beziehungen berücksichtigt, wobei

²⁰⁵ vgl. Kap. 5.3

²⁰⁶ vgl. Kap. 2.3.2.3

mit der Transformation der direkten zur indirekten Einflussmatrix ein Informationsverlust einhergeht. Die Schlüsselfaktoren variieren zwischen den vier Vorschlägen. Ein möglicher Grund ist die anteilmäßige Aufteilung der in Summe zehn zu definierenden Schlüsselfaktoren durch einen Experten auf die berechneten Indikatoren (vgl. Vorschlag 1 und Vorschlag 3) sowie die Unterscheidung zwischen sicheren und möglichen Schlüsselfaktoren (vgl. Vorschlag 4). Zudem ist ein subjektiver Auswahlprozess basierend auf Auswahlkriterien für die Auswahl des Vorschlags 1 und des Vorschlags 3 ausschlaggebend. Die Schlüsselfaktoren wurden auf Basis der berechneten Indikatoren in Bezug auf das Gesamtergebnis der Einflussanalysen ausgewählt. Das Analyseteam ist durch einen Experten repräsentiert. Für eine begründete Auswahl und zum besseren Verständnis der Wechselwirkungen innerhalb des Zielsystems von Varianten wird eine detaillierte Untersuchung der Analyseergebnisse empfohlen. Die Erweiterung des Analyseteams um weitere Experten wird dabei für zukünftige Forschungsaktivitäten vorgeschlagen.

6 Tool SPRYness zur Bewertung von Common-Rail Pumpen

Dieses Kapitel umfasst die Forschungsergebnisse während der vierten Phase der Arbeit²⁰⁷ *Umsetzung der Bewertungssystematik als Tool*. Ziel der Phase ist es, den in der Phase *Literaturrecherche* identifizierten und den in der Phase *Potentialfindung für die Bewertungssystematik* spezifizierten Forschungsbedarf bei dem automobilen Zulieferer für CP durch das Tool SPRYness zu decken.²⁰⁸ Das Tool SPRYness wurde in der Systemumgebung der CP4 entwickelt und stellt die Umsetzung der Bewertungssystematik²⁰⁹ zur Bewertung von Varianten in der Angebotsphase für CP als Tool dar. Das Tool wurde basierend auf der vorliegenden Arbeit von Mitarbeitern des automobilen Zulieferers programmiert. Bei der Entwicklung des Tools unterstützte zum einen das Produktprofil des Tools SPRYness (Kapitel 6.1), das im Rahmen der Arbeit aufgestellt wurde. Zum anderen dienten der im Rahmen der Arbeit entwickelte Funktionsdemonstrator des Tools SPRYness (Kapitel 6.2) und der im Rahmen der Arbeit modellierte Designdemonstrator des Tools SPRYness (Kapitel 6.3) als Grundlage bei den Abstimmungen mit den Softwareentwicklern und mit zukünftigen Anwendern des Tools. Das Produktprofil unterstützt bei der Implementierung des Tools SPRYness in Systemumgebungen weiterer CP als ein Überblick über das Tool. Der Funktionsdemonstrator wurde zur Simulation des Bewertungsalgorithmus entwickelt. Mit dem Designdemonstrator wird das vorgeschlagene Oberflächendesign des Tools SPRYness demonstriert. Im Fazit (Kapitel 6.4) sind die Ergebnisse zusammengefasst und reflektiert.

6.1 Produktprofil des Tools SPRYness

Die Inhalte zu den Modulen des Produktprofils²¹⁰ des Tools SPRYness *Produktclaim*, *Initiale Produktbeschreibung*, *Nachfrage*, *Wettbewerbssituation* und *Rahmenbedingungen* entsprechen dem identifizierten Forschungsbedarf in der Literatur

²⁰⁷ vgl. Kap. 3.2

²⁰⁸ vgl. Kap. 3.2

²⁰⁹ vgl. Kap. 5

²¹⁰ vgl. Kap. 2.3.2.3: Erläuterungen zu den Modulen eines Produktprofils in der PGE - Produktgenerationsentwicklung

und dem in der Systemumgebung der CP4 entwickelten Zielsystem der Bewertungssystematik.²¹¹ Das Modul *Referenzsystem* enthält unter anderem den Funktions- und den Designdemonstrator.²¹² Mit den Demonstratoren sind die Funktionen, das Oberflächendesign und Anwendungsfälle (Modul *Anwendungsfälle*) des Tools SPRYness beschrieben. Die Erarbeitung der restlichen Module *Bild*, *Validierung des ... durch*, *Anbieternutzen*, *Kundennutzen* und *Anwendernutzen* beruht auf dem in Abbildung 6.1 visualisierten Vorgehen.

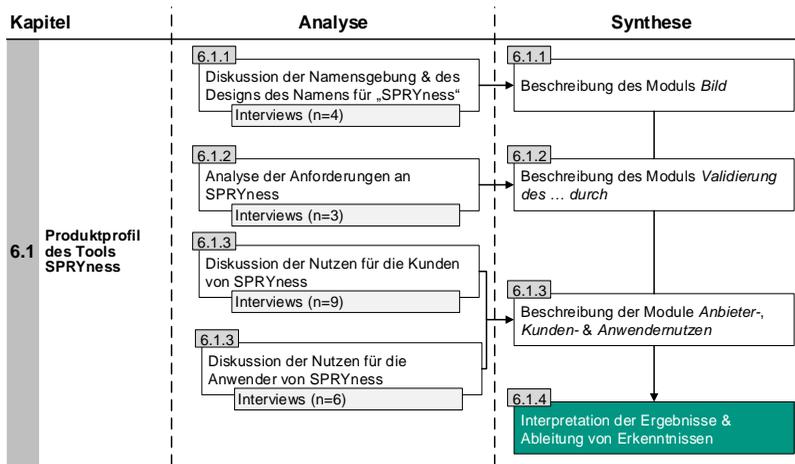


Abbildung 6.1: Vorgehen zur Erarbeitung des Produktprofils des Tools SPRYness

Die Unterkapitel umfassen die Beschreibungen der Analyse- und Syntheseaktivitäten, die bei der Untersuchung durchgeführt wurden. Diese sind entsprechend in der Spalte Analyse oder in der Spalte Synthese aufgeführt. Die Analyseaktivitäten basieren auf teilstandardisierten Interviews, wohingegen die Syntheseaktivitäten hauptsächlich die Konsolidierung der Ergebnisse aus den Gesprächen darstellen (Synthese). Das Unterkapitel mit den Erkenntnissen ist grün hervorgehoben. Die Erkenntnisse resultieren aus der Interpretation der Ergebnisse aus der Erarbeitung des Produktprofils (Synthese) (Kapitel 6.1.4). Mit Experten (n=4) wurde das Modul

²¹¹ vgl. Kap. 3.1.1 und Kap. 4.3

²¹² vgl. Kap. 6.2 und Kap. 6.3

Bild erarbeitet, mit welchem die Namensgebung des Tools SPRYness und das Design des Namens erläutert ist (Analyse) (Kapitel 6.1.1). Dabei haben Experte7, Experte8, Experte25 und Experte60 unterstützt. Das Modul *Validierung des ... durch* beinhaltet die zu validierenden Anforderungen des Tools SPRYness während der Programmierung, die mit Experten (n=3) (Experte25, Experte49, Experte51) definiert wurden (Analyse) (Kapitel 6.1.2). Zudem wurde der Nutzen untersucht, der durch die Implementierung des Tools SPRYness in die Systemumgebung des Unternehmens realisiert wird (Kapitel 6.1.3). In diesem Zusammenhang wurde das Modul *Kundennutzen* mit Experten (n=9) beschrieben (Analyse). Involviert waren Experte2, Experte3, Experte4, Experte5, Experte6, Experte9, Experte25, Experte38 und Experte44. Das Modul *Anwendernutzen* wurde mit Experten (n=6) abgestimmt (Analyse). Zu den Experten zählen Experte20, Experte21, Experte25, Experte33, Experte49 und Experte50.

6.1.1 Module des Produktprofils – Bild

Mit Experte60 wurden iterativ Vorschläge für die Namensgebung der als Tool umgesetzten Bewertungssystematik mit einem entsprechenden Design für den Namen ausgearbeitet. Ziel war es, durch einen einprägenden Namen und durch ein modernes Design des Namens einen Wiedererkennungswert zu schaffen und die Aufmerksamkeit der späteren Anwender des Tools zu erhöhen. Die Vorschläge wurden mit Experte25 initial diskutiert sowie mit Experte7 und Experte8 final abgestimmt. Das Tool hat den Namen SPRYness mit dem in Abbildung 6.2 visualisierten Schriftzug erhalten.



Abbildung 6.2: Schriftzug des Tools SPRYness (Peglow, 2019)

Das englische Wort *spryness* bedeutet auf Deutsch *Lebendigkeit* und repräsentiert die *flinke* Bewertung der Auswirkungen bereits weit vor der meist aufwändigen öko-

nomischen Bewertung in der Angebotsphase. Dadurch wird die dynamische Berechnung des EEF und das anwendergerechte Erleben der Bewertungssystematik widergespiegelt. Die Buchstaben S, P und R stehen abkürzend für StringencY, ProcessY und ReliabilitY. Diese Begriffe beschreiben die Bewertung einer angefragten Variante in der Angebotsphase wie folgt: StringencY of Evaluation of Variants (dt.: Stringenz der Variantenbewertung), Process of niftY User Experience (dt.: Prozess mit geschicktem Anwendererlebnis) und ReliabilitY of Costs (dt.: Zuverlässigkeit von Kosten). Aufgrund der erstmaligen Implementierung des Tools SPRYness in die Systemumgebung der CP4 symbolisieren die Pfeilspitzen eine zielgerichtete Bewertung von Varianten mit Fokus auf die Zahl *vier* in der Produktbezeichnung *CP4*. Die Farben des Designs sind entsprechend des Corporate Designs der Forschungsumgebung gewählt. (Peglow, 2019)

6.1.2 Module des Produktprofils – Validierung des ... durch

Für die Softwareentwicklung sind in der ISO/IEC 25010, 2011 Qualitätsmerkmale allgemein beschrieben, die eine zu entwickelnde Software hinsichtlich der Softwarequalität erfüllen soll. Speziell für die Entwicklung des Tools SPRYness wurden in teilstandardisierten Interviews (n=3) Anforderungen des Tools SPRYness diskutiert (Tabelle 31). Die Anforderungen des Tools SPRYness entsprechen teilweise den Anforderungen des Zielsystems der Bewertungssystematik (Tabelle 11). Mit den Experten wurde geprüft, welche der Qualitätsmerkmale (ISO/IEC 25010, 2011) mit den Anforderungen jeweils angesprochen sind (✓). Während der Implementierung des Tools SPRYness in die Systemumgebung einer CP ist jeder Reifegrad des Tools hinsichtlich den Anforderungen iterativ zu validieren. Die Validierungsaktivitäten und -methoden sind von den Softwareentwicklern entsprechend zu definieren. (Omiditabrizi, 2019)²¹³

²¹³ Co-betreute Masterarbeit

Tabelle 31: Anforderungen des Tools SPRYness (Omiditabrizi, 2019)²¹⁴

		Qualitätsmerkmale (ISO/IEC 25010, 2011)							
		Übertragbarkeit	Wartbarkeit	Sicherheit	Zuverlässigkeit	Funktionalität	Effizienz	Anwendbarkeit	Kompatibilität
Das Tool SPRYness soll...									
1	den Bewertungsalgorithmus zuverlässig & korrekt wiedergeben				✓	✓			
2	den Bewertungsalgorithmus effizient ausführen						✓		
3	die Bewertungsergebnisse in Realtime anzeigen						✓	✓	
4	auf Basis eines durchgängigen Wissensmanagementsystems aufgebaut sein				✓		✓	✓	
5	automatisierte Benachrichtigungsemails für einen transparenten Informationsfluss umfassen							✓	
6	die Einhaltung des Bewertungsprozesses konsequent verfolgen							✓	
7	ein schlichtes Design und moderne Bedienelemente umfassen							✓	
8	ein positives Anwendererlebnis generieren							✓	
9	von Anwendern intuitiv & optisch ansprechend bedienbar sein							✓	
10	moderne Anreden an den Anwender umfassen							✓	
11	eine Weiterentwicklung der Bewertungssystematik mit geringem Anpassungsaufwand gewährleisten	✓	✓						
12	eine Anpassung der Gewichtungen und der Bewertungsskala durch die Anwender erlauben		✓						
13	entsprechend der zugeordneten Aktivitäten im Bewertungsprozess nur von definierten Entwicklerteams bedienbar sein			✓					
14	die Generierung von integrierten, standardisierten Berichtsvorlagen gewährleisten							✓	✓
15	Schnittstellen zu vor- und nachgelagerten Aktivitäten der Produktentstehung berücksichtigen								✓

²¹⁴ Co-betreute Masterarbeit

6.1.3 Module des Produktprofils – Kunden-, Anwender-, & Anbieternutzen

Die Anbieter-, Kunden- und Anwendernutzen verdeutlichen den Mehrwert für die Stakeholder, die aus der Implementierung des Tools SPRYness in die Systemumgebung einer CP resultieren. Als Kunden sind die Entwicklerteams des Unternehmens zu verstehen, die die Implementierung des Tools SPRYness monetär subventionieren und mit personellen Ressourcen unterstützen. Als Anwender sind die Entwicklerteams zu verstehen, die das Tool SPRYness bei ihren Tätigkeiten nutzen (z.B. Bewertung von Varianten, Auswertung der Bewertungsergebnisse). Anbieter sind die Entwicklerteams, die die Software für den Kunden programmieren. Die Softwareentwickler haben vor allem einen Nutzen durch die Programmierung des Tools für eine Pilotanwendung. In der Arbeit liegt der Fokus auf dem Kunden- und dem Anwendernutzen, weswegen der Anbieternutzen an dieser Stelle nicht weiter spezifiziert ist.

Von der Implementierung des Tools SPRYness profitieren verschiedene Entwicklerteams des Unternehmens (Kundennutzen). Insbesondere sind dies die Entwicklerteams, die bei der Bewertung von Varianten in der Angebotsphase involviert sind. Entsprechend des Bewertungsprozesses verantworten die Entwicklerteams die inhaltlichen Bewertungen und die Systempflege des Tools für das zugeordnete Bewertungselement. Darüber hinaus haben die Entwicklerteams ein strategisches Interesse an dem interdisziplinären Tool. Mit Experte25 wurde ein Konzept für den Berichtsfluss zwischen den Entwicklerteams gegenüber der strategischen Leitung erarbeitet (Abbildung 6.3). Dabei wurde bestimmt, welche Organisationseinheit auf welcher Hierarchieebene die strategische Leitung des Tools SPRYness verantwortet. (Peglow, 2019) Das Konzept wurde mit Führungskräften verschiedener Fachbereiche (n=8) diskutiert und mit Experte4 final abgestimmt. Der Berichtsfluss visualisiert, dass die Entwicklerteams gegenüber der strategischen Leitung zur Berichterstattung verpflichtet sind. Die Entscheidung in der Angebotsphase, ob eine angefragte Variante angeboten wird, ist von strategischer Bedeutung, weswegen das Management des Produktbereichs als strategische Leitung ausgewählt wurde. Eine fachbereichsunabhängige Leitung ermöglicht einen umfassenden Blick auf die Bewertungen der elementspezifischen Bewertungselemente. Der strategischen Leitung obliegt unter anderem die Koordination der einzelnen Bewertungen und die Konsolidierung der Bewertungen für strategische Auswertungen. (Peglow, 2019)

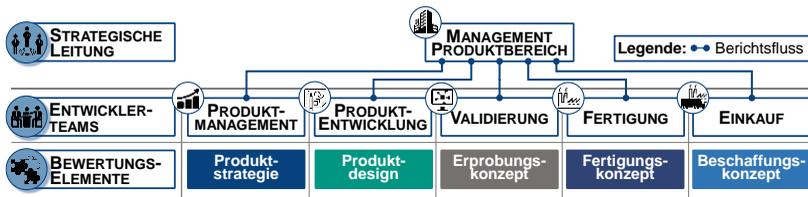


Abbildung 6.3: Berichtsfluss im Rahmen der Anwendung des Tools SPRYness (Peglow, 2019)

Durch ein standardisiertes Wissensmanagementsystem kann ein einheitlicher Datenspeicher mit Zugriff auf relevante Informationen und ein transparenter Informationsfluss zwischen den Entwicklerteams realisiert werden. Aufgrund der einheitlich aufgebauten Bewertungsbögen²¹⁵, wird die Programmierung durch wiederkehrende Programmierbausteine erleichtert und somit der Implementierungsaufwand gering gehalten. Zudem profitieren Entwicklerteams von vor- und nachgelagerten Aktivitäten in der Angebotsphase durch das Tool SPRYness. Durch die Berücksichtigung von Schnittstellen zu weiteren Methoden und Tools bei der Programmierung des Tools SPRYness kann die Weiterentwicklung des Tools – hinsichtlich einer durchgängigen Angebotsphase – mit geringem Aufwand vorbereitet werden. (Peglow, 2019)

In teilstandardisierten Interviews (n=6) wurden die Anwender des Tools SPRYness mit beispielhaften Anwendernutzen diskutiert (Tabelle 32). Im Allgemeinen gibt ein Anwender Informationen als Input in das Tool ein und / oder verarbeitet die durch das Tool generierten Informationen weiter. Inputdaten sind unter anderem die Bewertung der Bewertungselemente, die Auswahl der variablen Bewertungselemente und die Auswahl von Berichtsinhalten. Im Spezifischen zählen zu den Anwendern die Entwicklerteams, die innerhalb des Bewertungsprozesses²¹⁶ involviert sind. Zudem ist das Tool SPRYness selbst ein Anwender, da das Tool Inputdaten weiterverarbeitet. Zum Beispiel berechnet das Tool den EEF auf Basis der Bewertungen der Bewertungselemente durch das Expertenteam und gibt den EEF als Bewertungsergebnis in definierter Form aus. (Peglow, 2019)

²¹⁵ vgl. Kap. 5.2.2

²¹⁶ vgl. Kap. 5.1.3

Tabelle 32: Anwendernutzen im Rahmen des Produktprofils der Bewertungssystematik (Peglow, 2019)

Anwender	Anwendernutzen
Kundenteam	<ul style="list-style-type: none"> • Transparenz über den gesamten Bewertungsprozess hinweg • Einblick in die Bewertungsergebnisse • Auswahl der Berichtsinhalte
Entwicklerteams der zugeordneten Bewertungselemente	<ul style="list-style-type: none"> • Transparenz über den gesamten Bewertungsprozess hinweg • Einblick in die Bewertungsergebnisse • Bewertung des zugeordneten Bewertungselements • Auswahl der Berichtsinhalte
Lenkungsausschuss	<ul style="list-style-type: none"> • Transparenz über den gesamten Bewertungsprozess hinweg • Einblick in die Bewertungsergebnisse • Auswahl der variablen Bewertungselemente (Sub-QG1) • Gutachtung der Bewertungsergebnisse (Sub-QG2) • Auswahl der Berichtsinhalte
Management Produktbereich	<ul style="list-style-type: none"> • Transparenz über den gesamten Bewertungsprozess hinweg • Einblick in die Bewertungsergebnisse • Entscheidung über das weitere Vorgehen (QG1)
Tool SPRYness	<ul style="list-style-type: none"> • Berechnung des EEF • Darstellung des Bewertungsergebnisses • Generierung von Berichten • Versenden von Benachrichtigungsemails

6.1.4 Erkenntnisse zum Produktprofil des Tools SPRYness

Im Folgenden sind die Erkenntnisse zum Produktprofil des Tools SPRYness aufgelistet und mit Ergebnissen aus der Erarbeitung beschrieben.

Das Produktprofil des Tools SPRYness unterstützt bei der Umsetzung der Bewertungssystematik als Tool.

Auf Basis des Produktprofils des Tools SPRYness wurde ein Leitfaden zur Umsetzung der Bewertungssystematik als Tool entwickelt, in dem die Module des Produktprofils des Tools SPRYness und darüberhinausgehende Funktionen und Prozesse innerhalb des Tools beschrieben sind. Für weitere Informationen zu dem Leitfaden

sei an dieser Stelle auf die dazugehörige Abschlussarbeit verwiesen (vgl. Omiditabrizi, 2019²¹⁷).

Mit der Validierung der Anforderungen des Tools SPRYness wird jeweils der Reifegrad des Tools während der Programmierung des Tools SPRYness erhöht.

Die Anforderungen des Tools SPRYness wurden in Zusammenarbeit mit Softwareentwicklern des Tools SPRYness definiert und an den Qualitätsmerkmalen aus der Softwareentwicklung (ISO/IEC 25010, 2011) gespiegelt. Die Aktivitäten und Methoden zur kontinuierlichen Validierung des Tools SPRYness in unterschiedlichen Reifegraden während der Programmierung sind von den Softwareentwicklern kontextspezifisch zu spezifizieren.

Der Umgang mit Varianten in der Angebotsphase und somit die Verantwortung über das Tool SPRYness ist von strategischer Bedeutung.

Mit Experten der oberen Führungsebene verschiedener Fachbereiche wurde die organisatorische Verantwortung für das Tool SPRYness diskutiert. Daraus geht hervor, dass die Entscheidung über die Einführung von Varianten zum einen durch heterogene Interessen der Entwicklerteams gekennzeichnet und zum anderen von strategischer Relevanz ist. Für eine strategische und fachbereichsunabhängige Koordination der Anwendung wurde die obere Führungsebene für die strategische Leitung des Tools SPRYness bestimmt.

Der Aufwand zur Programmierung und zur Implementierung des Tools SPRYness wird durch wiederkehrende Aktivitäten der Produktentstehung gering gehalten.

Da die Bewertungsbögen für die Bewertungselemente einheitlich aufgebaut sind und die Bewertungen der Bewertungselemente derselben Bewertungslogik unterliegen, umfasst das Tool SPRYness entsprechend wiederkehrende Programmierbausteine. Zur Codierung der Programmierbausteine sind somit wiederkehrend dieselben Aktivitäten der Produktentstehung (z.B. Wissen managen, Profile finden, Gestalt modellieren) notwendig.

²¹⁷ Co-betreute Masterarbeit

6.2 Funktionsdemonstrator des Tools SPRYness

Der Funktionsdemonstrator des Tools SPRYness wurde auf Basis der Kalkulationsapplikation *Excel* entwickelt. In Abbildung 6.4 ist das Vorgehen zur Entwicklung des Funktionsdemonstrators abgebildet.

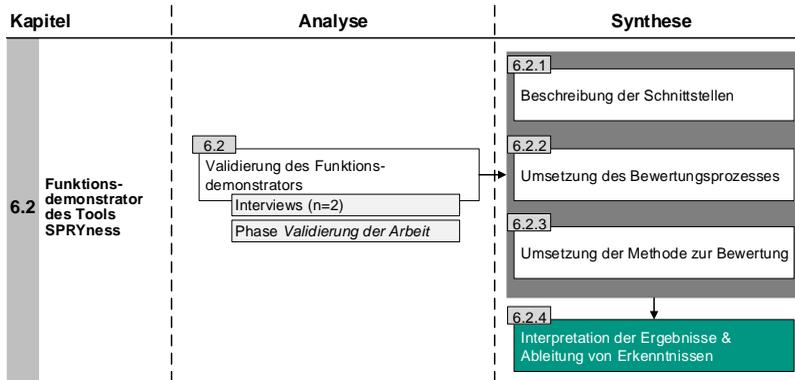


Abbildung 6.4: Vorgehen zur Entwicklung des Funktionsdemonstrators des Tools SPRYness

In den Unterkapiteln sind die Analyse- und die Syntheseaktivitäten während der Entwicklung beschrieben, die entsprechend in der Spalte Analyse oder in der Spalte Synthese dargestellt sind. Die Entwicklung beruht prinzipiell auf den Aktivitäten der Synthese, mit denen die Bewertungssystematik toolgestützt umgesetzt wurde. In den Unterkapiteln sind die Schnittstellen zu vor- und nachgelagerten Aktivitäten des Bewertungsprozesses (Synthese) (Kapitel 6.2.1), die Umsetzung des Bewertungsprozesses (Synthese) (Kapitel 6.2.2) und die Umsetzung der Methode zur Bewertung (Synthese) (Kapitel 6.2.3) beschrieben. Die Umsetzungen erfolgten gemeinschaftlich. Die Aktivität der Analyse basiert zum einen auf der Validierung des Funktionsdemonstrators während der Entwicklung (Analyse) (Kapitel 6.2). Unterstützt haben Experte25 und Experte33²¹⁸, mit denen in regelmäßigen, teilstandardisierten Interviews der Entwicklungsfortschritt des Funktionsdemonstrators besprochen wurde. Zum anderen fließen bei der Entwicklung des Funktionsdemonstrators

²¹⁸ vgl. Kap. 3.3.3: Involvierte Experten während des Forschungsprojekts

Erkenntnisse aus der Phase der Arbeit²¹⁹ *Validierung der Arbeit* (Kapitel 7) mit ein. Das Unterkapitel mit den Erkenntnissen ist grün hervorgehoben. Die Erkenntnisse resultieren aus der Interpretation der Ergebnisse aus der Entwicklung des Funktionsdemonstrators (Synthese) (Kapitel 6.2.4).

6.2.1 Schnittstellen des Funktionsdemonstrators

Mit dem Funktionsdemonstrator kann mit Hilfe eines installierten Druckers ein Bericht über die Bewertungen in Form einer standardisierten Druckvorlage erstellt werden. Abhängig von den Bewertungen der Bewertungselemente²²⁰ generiert der Funktionsdemonstrator eine standardisierte Druckvorlage, die mit Experte25 und Experte33 erarbeitet wurde. In Tabelle 33 ist die standardisierte Druckvorlage mit beispielhaften Bewertungsergebnissen dargestellt. In Tabellenform wird für die ersten fünf Bewertungskriterien ($j=1,2,3,4,5$) der Bewertungselemente ($i=1,2,3,4,5$) jeweils die Bewertung auf der Bewertungsskala²²¹ angegeben. Nicht ausgewählte Bewertungselemente werden in grau aufgeführt. Weiterhin berechnet der Funktionsdemonstrator – abhängig von den Bewertungen durch die Entwicklerteams – den relativen Einfluss der Bewertungskriterien auf den EEF, der jeweils als Prozentzahl ausgegeben und in Form eines Balkendiagramms dargestellt wird. Der relative Einfluss ist jeweils die Multiplikation der Bewertungen durch die Entwicklerteams ($e'_{ij}+1$ für $i=1$, $e_{ij}+1$ für $i=2,3,4,5$) mit den dazugehörigen Gewichtungen für die Bewertungskriterien (c_{ij}) und für die Bewertungselemente (a_i).²²² Aufgrund der erarbeiteten Gewichtungen für die CP4 kann der Einfluss auf den EEF zwischen 0% und 30,3% liegen. Die drei größten Werte für den Einfluss auf den EEF werden in grüner Schriftfarbe abgebildet, da diese den EEF am stärksten positiv beeinflussen. An dem visualisierten Beispiel ist zu erkennen, dass mit Hilfe des Bewertungskriteriums *Kundenstrategie* ($j=2$) das Bewertungselement *Produktstrategie* ($i=1$) mit der Ausprägung *sehr hoch* ($e'_{12}+1=0+1=1$) bewertet ist. Darauf basierend ergibt sich der Einfluss auf den EEF von 30,30% (grüne Schriftfarbe) mit den korrespondierenden Gewichtungen ($a_1=29,5\%$ und $c_{12}=25,7\%$). Die drei kleinsten Werte für den Einfluss auf den EEF werden in roter Schriftfarbe dargestellt, da diese den EEF am stärksten negativ beeinflussen.

²¹⁹ vgl. Kap. 3.2

²²⁰ vgl. Kap. 6.2.2 und Kap. 6.2.3

²²¹ vgl. Kap. 5.2.2: Erläuterungen zu der Bewertungsskala der Bewertungskriterien

²²² vgl. Kap. 5.2.3: Erläuterungen zu den Variablen des Bewertungsalgorithmus

Tabelle 33: Standardisierte Druckvorlage

	Frage	Bewertung	Einfluss auf EEF (Skala von 0 bis max. 30,3%)	EEF _i
Produktstrategie	1	sehr hoch	25,43%	100,00%
	2	sehr hoch	30,30%	
	3	sehr hoch	7,61%	
	4	sehr hoch	26,59%	
	5	sehr hoch	28,03%	
Produkt-design	1	gering	3,27%	47,97%
	2	gering	10,25%	
	3	gering	21,99%	
	4	hoch	8,47%	
	5	gering	8,87%	
Erprobungs-konzept	1			i=3 ist nicht aktiv
	2			
	3			
	4			
	5			
Fertigungs-konzept	1	gering	9,68%	66,67%
	2	gering	17,97%	
	3	gering	12,33%	
	4	gering	11,53%	
	5	gering	18,14%	
Beschaffungs-konzept	1	sehr hoch	1,31%	0,00%
	2	sehr hoch	4,20%	
	3	sehr hoch	4,28%	
	4	sehr hoch	2,18%	
	5	sehr hoch	3,97%	
EEF				41,71%

In dem Beispiel beträgt der Einfluss auf den EEF 3,27% (rote Schriftfarbe) für das Bewertungskriteriums *Allgemeine Konsequenzen* (j=1) des Bewertungselements *Produktdesign* (i=2). Dies ist auf die Ausprägung *sehr hoch* ($e_{21+1}=3+1=4$) und die korrespondierenden Gewichtungen ($a_2=19,0\%$ und $c_{21}=5,7\%$) zurückzuführen. Darüber hinaus sind die Ergebnisse für die EEF_i der Bewertungselemente (i=1,2,3,4,5) und das Ergebnis für den EEF in den Farben der Ergebnisskala²²³ aufgelistet.

²²³ vgl. Kap. 6.2.2.3: Erläuterung zur bedingten Formatierung zur Darstellung des Bewertungsergebnisses

6.2.2 Bewertungsprozess innerhalb des Funktionsdemonstrators

Im Folgenden sind an Beispielen die Bewertung der Bewertungselemente (Kapitel 6.2.2.1), die Auswahl der variablen Bewertungselemente (Kapitel 6.2.2.2) und die Anzeige des Bewertungsergebnisses (Kapitel 6.2.2.3) erläutert.

6.2.2.1 Bewertung der Bewertungselemente

Die Bewertung mit Hilfe des Funktionsdemonstrators erfolgt in einer Datei, wobei die Bewertungen der Bewertungselemente jeweils einem Entwicklerteam²²⁴ zugeordnet sind. Die Entwicklerteams informieren gemäß dem Bewertungsprozess insbesondere die Entwicklerteams über den Bewertungsstatus, die für nachfolgende Aktivitäten im Bewertungsprozess verantwortlich sind. Der Funktionsdemonstrator umfasst die Bewertungsbögen für die Bewertungselemente, mit deren Hilfe die Entwicklerteams die Bewertungen vornehmen. Zur Aggregation der Bewertungen ist zudem der Bewertungsalgorithmus umgesetzt. Am Beispiel des Bewertungselements *Produktstrategie* ($i=1$) sind der Aufbau und die Funktionen der Bewertungsbögen in Abbildung 6.5 dargestellt. Abgebildet ist der Bewertungsbogen mit den Fragestellungen zu den Bewertungskriterien (j) inklusive der Bewertungsskala für die ersten fünf Bewertungskriterien und der binären Abfrage für das sechste Bewertungskriterium. Die ersten fünf Bewertungskriterien sind um die Eingabe durch das Entwicklerteam zur Bewertung (e'_{1j} bzw. e_{ij} für $i=2,3,4,5$) erweitert. Wird die Ausprägung eines Bewertungskriteriums bestimmt, erscheint ein grüner Haken rechts neben dem Bewertungskriterium. Ein Dropdown-Menü unterstützt bei der binären Abfrage des sechsten Bewertungskriteriums. Hinsichtlich der Transparenz sind übergeordnet die Gewichtung des Bewertungselements (a_i) und zu jedem Bewertungskriterium die dazugehörige Gewichtung (c_{ij}) aufgelistet. Ein grün eingefärbter Hinweis erscheint zur Überprüfung, ob alle Gewichtungen der Bewertungskriterien innerhalb des betrachteten Bewertungselements 100% ergeben.

²²⁴ vgl. Kap. 5.1.3

		a ₁ = 29,5%						
Produktstrategie (i=1)	1 Frage	c _{1j}	Bewertung e' _{1j}					
	1	Wie ist das langfristige Potential der Variante am Markt (ggü. Wettbewerb) einzuschätzen?	21,6%	Skala	sehr gering	gering	hoch	sehr hoch
				Erklärung	Kundenindividuelle Sonderlösung ohne Marktpotential	Verringern oder Schließen einer Marktlücke	Ähnliche Produkte sind beim Wettbewerber in Vorbereitung	Hohe Wettbewerbsfähigkeit mit Potential zur Produktdiversifikation
			e ₁₁				x	
	2	Wie ist die Relevanz des Kunden im Rahmen der Kundenstrategie einzuschätzen?	25,7%	Skala	sehr gering	gering	hoch	sehr hoch
				Erklärung	Kunde mit sehr geringer Relevanz	Kunde mit geringer Relevanz	Kunde mit kommerziellem und technischem Potential	Strategischer Kunde
		e ₁₂				x		
3	Wie sind die Erfahrungen mit dem Kunden hinsichtlich der Anforderungsdefinition einzuschätzen?	6,5%	Skala	sehr gering	gering	hoch	sehr hoch	
			Erklärung	Unkonkrete Kundenanforderungen mit häufigen Änderungen	Unkonkrete Kundenanforderungen mit wenigen Änderungen	Konkrete Kundenanforderungen mit wenigen Änderungen	Konkrete Kundenanforderungen mit wenigen/keinen Änderungen	
		e ₁₃				x		
4	Wie ist der Gesamt-Umsatz der Variante über die nächsten 5 Jahre einzuschätzen?	22,5%	Skala	sehr gering	gering	hoch	sehr hoch	
			Erklärung	0 € - 50 Mio. €	50 Mio. € - 150 Mio. €	150 Mio. € - 250 Mio. €	≥ 250 Mio. €	
		e ₁₄				x		
5	Inwieweit ist die Variante mit der Plattformstrategie hinsichtlich des Produktportfolios und der Zeitplanung vereinbar?	23,8%	Skala	sehr gering	gering	hoch	sehr hoch	
			Erklärung	Nicht präferierte Integration, Plattform wird nicht präferiert	Aufwändige Integration, Plattform ist in Serienfertigung	Eher einfache Integration, Start der Plattformentwicklung ist erfolgt	Einfache Integration, Start der Plattformentwicklung ist nicht erfolgt	
		e ₁₅				x		
6 Empfehlung	Ja							
Summe der Gewichtungen gleich 100%								

Abbildung 6.5: Bewertung der Bewertungselemente im Funktionsdemonstrator

6.2.2.2 Auswahl der variablen Bewertungselemente

Die Auswahl für jedes variable Bewertungselement erfolgt individuell. Die Auswahl ist am Beispiel des Bewertungselements *Erprobungskonzept* (i=3) stellvertretend für die variablen Bewertungselemente in Abbildung 6.6 abgebildet. Im Allgemeinen entsprechen der Aufbau und die Funktionen der in Kapitel 6.2.2.1 beschriebenen Bewertung. Die Bewertungsbögen der variablen Bewertungselemente sind um eine übergeordnete Abfrage zur Aktivierung des jeweiligen Bewertungselements erweitert. Das Entwicklerteam wählt mit Hilfe eines Dropdown-Menüs aus, ob das Bewertungselement aktiviert werden soll (x_i=1) oder nicht (x_i=0)²²⁵. Im Falle einer Deaktivierung wird das Bewertungselement ausgegraut und die Felder zur Bewertung der Bewertungskriterien werden für eine Eingabe gesperrt. Abhängig von der Auswahl wird das Bewertungselement bei der Berechnung des EEF (nicht) berücksichtigt.

²²⁵ vgl. Kap. 5.2.3: Erläuterung zur Hilfsvariable x_i im Bewertungsalgorithmus

Nicht Aktiv		Bitte auswählen						
		$a_3 = 12,3\%$						
j	Frage	c_{2j}	Bewertung e_{2j}					
			Skala	sehr gering	gering	hoch	sehr hoch	
1	Wie ist der Aufwand zur Realisierung der Variante hinsichtlich der Plattformprobung einzuschätzen?	29,0%	Skala	sehr gering	gering	hoch	sehr hoch	
			Erklärung	Mit Plattformprobung realisierbar	Mit Plattformprobung durch geringe Anpassungen realisierbar	Mit Plattformprobung durch große Anpassungen realisierbar	Neue Plattformprobung ist erforderlich	
			e_{2j}		x			
			e_{2j}					
			e_{2j}					
2	Wie ist der Aufwand zur technischen Realisierung der Variante mit der Prüf- und Messtechnik einzuschätzen?	18,1%	Skala	sehr gering	gering	hoch	sehr hoch	
			Erklärung	Mit Prüf- und Messtechnik realisierbar	Mit Prüf- und Messtechnik durch geringe Anpassungen realisierbar	Mit Prüf- und Messtechnik durch große Anpassungen realisierbar	Prüf- und Messtechnik sind nicht bekannt	
			e_{2j}		x			
			e_{2j}					
			e_{2j}					
3	Wie ist der Aufwand zur Realisierung des Kundentermin einzuschätzen?	26,7%	Skala	sehr gering	gering	hoch	sehr hoch	
			Erklärung	Kundentermin ist realisierbar	Kundentermin ist realisierbar mit Umpriorisierung von Projekten	Kundentermin ist realisierbar mit Auflagen	Kundentermin ist nicht realisierbar	
			e_{2j}		x			
			e_{2j}					
			e_{2j}					
4	Wie ist der Kapazitätsbedarf bei der Erprobung unter den geforderten Randbedingungen (Stückzahl, Kundentermin) einzuschätzen?	16,0%	Skala	sehr gering	gering	hoch	sehr hoch	
			Erklärung	Mit personeller Kapazität realisierbar	Mit personeller Kapazität realisierbar durch Umpriorisierung von Projekten	Mit zeitlich begrenztem Mehraufwand der Mitarbeiter realisierbar	Mit personeller Kapazität nicht realisierbar, neue Mitarbeiter erforderlich	
			e_{2j}		x			
			e_{2j}					
			e_{2j}					
5	Wie sind die Kosten in der Erprobung zur Realisierung der Variante einzuschätzen?	10,1%	Skala	sehr gering	gering	hoch	sehr hoch	
			Erklärung	0 € - 50.000 €	50.000 € - 150.000 €	150.000 € - 250.000 €	> 250.000 €	
			e_{2j}					
			e_{2j}					
			e_{2j}					
Empfehlung		OK						

Abbildung 6.6: Auswahl der variablen Bewertungselemente im Funktionsdemonstrator

6.2.2.3 Anzeige des Bewertungsergebnisses

Auf Basis der Bewertungen der Bewertungselemente und des integrierten Bewertungsalgorithmus berechnet der Funktionsdemonstrator das Bewertungsergebnis und gibt dieses in Realtime aus (Abbildung 6.7). Die aufgeführten Werte resultieren aus einer exemplarischen Bewertung der Bewertungselemente. Übergeordnet ist das Ergebnis aus der Berechnung des EEF aufgezeigt. Abhängig vom Ergebnis erscheint der berechnete Wert des EEF mit einer bedingten Formatierung in einer definierten Schriftfarbe (dunkelgrün: $80\% < EEF \leq 100\%$, hellgrün: $60\% < EEF \leq 80\%$, gelb: $40\% < EEF \leq 60\%$, orange: $20\% < EEF \leq 40\%$, rot: $0\% \leq EEF \leq 20\%$). Entsprechend der Kategorisierung wird zusätzlich die Ausprägung des Potentials zur Einführung einer Variante für das Unternehmen in der jeweiligen Schriftfarbe angegeben (dunkelgrün: sehr hoch, hellgrün: hoch, gelb: mittel, orange: gering, rot: sehr gering). Sofern Bewertungselemente nicht ausgewählt wurden, ist dies in der

Auflistung gekennzeichnet. Die Berechnungsergebnisse für die EEF_i der Bewertungselemente werden tabellarisch dargestellt. Abhängig von dem jeweiligen Ergebnis werden die Werte der EEF_i und das resultierende Potential analog zur bedingten Formatierung für den EEF in angepasster Schriftfarbe ausgegeben.

EEF	mittleres Gesamtpotential	47,91%
EEF₁	sehr hohes Potential	100,00%
EEF₂	hohes Potential	61,25%
EEF₃	nicht bewertetes Potential	i=3 ist nicht aktiv
EEF₄	geringes Potential	38,05%
EEF₅	sehr geringes Potential	0,00%

Abbildung 6.7: Anzeige des Bewertungsergebnisses im Funktionsdemonstrator

An dem Beispiel ist zu erkennen, dass das Bewertungselement *Produktstrategie* ($i=1$) mit Hilfe aller dazugehörigen Bewertungskriterien positiv und dass das Bewertungselement *Beschaffungskonzept* ($i=5$) mit Hilfe aller dazugehörigen Bewertungskriterien negativ bewertet sein muss. Dementsprechend hat das Entwicklerteam für die ersten fünf Bewertungskriterien des Bewertungselements *Produktstrategie* ($i=1$) die Ausprägungen *sehr hoch* gewählt und die Variante mit Hilfe des sechsten Bewertungskriteriums empfohlen. Im Vergleich dazu hat das Entwicklerteam das Bewertungselement *Beschaffungskonzept* ($i=5$) mit Hilfe der Ausprägungen *sehr hoch* für die ersten fünf Bewertungskriterien bewertet und keine Empfehlung mit Hilfe des sechsten Bewertungskriteriums ausgesprochen.

6.2.3 Methode zur Bewertung innerhalb des Funktionsdemonstrators

Im Folgenden sind die Funktionen des Funktionsdemonstrators beschrieben, mit denen überprüft wird, ob die Methode zur Bewertung korrekt ausgeführt werden kann. Zu den Funktionen zählen die Überprüfungen von implausiblen Bewertungen (Kapitel 6.2.3.1), implausiblen Gewichtungen der Bewertungskriterien (Kapitel 6.2.3.2) und implausiblen Gewichtungen der Bewertungselemente (Kapitel 6.2.3.3) durch eine fehlerhafte Eingabe der Entwicklerteams.

6.2.3.1 Überprüfung von implausiblen Bewertungen

Implausible Bewertungen mit Hilfe der Bewertungskriterien führen zu Fehlermeldungen, die innerhalb des betrachteten Bewertungsbogens angezeigt werden. Dieser Anwendungsfall ist exemplarisch für das Bewertungselement *Produktdesign* ($i=2$) simuliert (Abbildung 6.8).

		$a_2 = 19,0\%$					
j	Frage	c_{2j}	Bewertung e_{2j}				
			Skala	sehr gering	gering	hoch	sehr hoch
Produkt-design (i=2)	1	5,7%	Skala	sehr gering	gering	hoch	sehr hoch
			Erklärung	0 - 1	2 - 3 Bauteile	4 - 5 Bauteile	≥ 6 Bauteile
			e_{21}		x	x	
	2	18,0%	Skala	sehr gering	gering	hoch	sehr hoch
			Erklärung	0,5 - 1 Mannjahre	1 - 5 Mannjahre	5 - 10 Mannjahre	≥ 10 Mannjahre
			e_{22}				
	3	38,5%	Skala	sehr gering	gering	hoch	sehr hoch
			Erklärung	Kundentermin ist realisierbar	Kundentermin ist realisierbar mit Umpriorisierung von Projekten	Kundentermin ist realisierbar mit Auflagen	Kundentermin ist nicht realisierbar
			e_{23}			x	
	4	22,3%	Skala	sehr gering	gering	hoch	sehr hoch
Erklärung			Mit personeller Kapazität realisierbar	Mit personeller Kapazität realisierbar durch Umpriorisierung von Projekten	Mit zeitlich begrenztem Mehraufwand der Mitarbeiter realisierbar	Mit personeller Kapazität nicht realisierbar, neue Mitarbeiter erforderlich	
e_{24}			x				
5	15,5%	Skala	sehr gering	gering	hoch	sehr hoch	
		Erklärung	0 - 100.000 €	100.000 € - 1 Mio. €	1.Mio. € - 2,5 Mio. €	≥ 2,5 Mio. €	
		e_{25}		x			
6	Empfehlung	Ja					

Summe der Gewichtungen gleich 100%

Abbildung 6.8: Implausible Bewertungen im Funktionsdemonstrator

Der Aufbau und die Funktionen des Bewertungsbogens stimmen mit denen überein, die in Kapitel 6.2.2.1 beschrieben sind. Eine korrekte Eingabe von genau einer Auswahl auf der 4er-Ordinalskala besteht bei dem dritten, vierten und fünften Bewertungskriterium. Ein grüner Haken symbolisiert die plausible Auswahl der Ausprägungen mit korrekter Eingabe. Für das erste Bewertungskriterium sind beispielhaft die Ausprägungen *gering* und *hoch* und für das zweite Bewertungskriterium ist keine Ausprägung ausgewählt. Infolgedessen erscheint hinter den ersten zwei Bewertungskriterien ein rotes Kreuz als Hinweis, dass die Eingabe implausibel ist. Das Entwicklerteam kann daraufhin die Eingabe korrigieren, sodass die Bewertung des betrachteten Bewertungselements in die Berechnung des EEF geht.

6.2.3.2 Überprüfung bei implausiblen Gewichtungen der Bewertungskriterien

Am Beispiel des Bewertungselements *Fertigungskonzept* ($i=4$) ist in Abbildung 6.9 die Funktion des Funktionsdemonstrators abgebildet, wenn implausible Gewichtungen für die Bewertungskriterien eingegeben werden.

Aktiv		Bitte auswählen					
		$a_4 = 23,2\%$					
j	Frage	c_{4j}	Bewertung e_{4j}				
			Skala	sehr gering	gering	hoch	sehr hoch
Fertigungskonzept ($i=4$)	1	30,0%	Skala	sehr gering	gering	hoch	sehr hoch
			Erklärung	Sehr geringer organisatorischer Aufwand für die Fertigungswerke	Geringer organisatorischer Aufwand für die Fertigungswerke	Hoher organisatorischer Aufwand für die Fertigungswerke	Sehr hoher organisatorischer Aufwand für die Fertigungswerke
			e_{41}		x		
			e_{42}				x
			e_{43}			x	
2	Wie ist der Aufwand zur technischen Realisierung der Variante mit den Fertigungsverfahren und -prozessen einzuschätzen?	30,0%	Skala	sehr gering	gering	hoch	sehr hoch
			Erklärung	Mit Fertigungstechnik realisierbar	Mit Fertigungstechnik durch geringe Anpassungen realisierbar	Mit Fertigungstechnik durch große Anpassungen realisierbar	Fertigungstechnik ist nicht bekannt
			e_{42}				x
3	Wie ist der Aufwand zur Realisierung des Kundentermins einzuschätzen?	10,0%	Skala	sehr gering	gering	hoch	sehr hoch
			Erklärung	Kundentermin ist realisierbar	Kundentermin ist realisierbar mit Umpriorisierung von Projekten	Kundentermin ist realisierbar mit Auflagen	Kundentermin ist nicht realisierbar
			e_{43}			x	
4	Wie ist der Kapazitätsbedarf bei der Fertigung unter den geforderten Randbedingungen (Stückzahl, Kundentermin) einzuschätzen?	10,0%	Skala	sehr gering	gering	hoch	sehr hoch
			Erklärung	Mit personeller Kapazität realisierbar	Mit personeller Kapazität realisierbar durch Umpriorisierung von Projekten	Mit zeitlich begrenztem Mehraufwand der Mitarbeiter realisierbar	Mit personeller Kapazität nicht realisierbar, neue Mitarbeiter erforderlich
			e_{44}			x	
5	Wie sind die Investitionen in der Fertigung zur Realisierung der Variante einzuschätzen?	10,0%	Skala	sehr gering	gering	hoch	sehr hoch
			Erklärung	0 € - 100.000 €	100.000 € - 0,5 Mio. €	0,5 Mio. € - 2,5 Mio. €	≥ 2,5 Mio. €
			e_{45}		x		
6	Empfehlung	Ja					
Summe der Gewichtungen ungleich 100%							

Abbildung 6.9: Implausible Gewichtungen der Bewertungskriterien im Funktionsdemonstrator

Der Aufbau und die Funktionen des Bewertungsbogens stimmen mit denen überein, die in Kapitel 6.2.2.1 beschrieben sind. Im Funktionsdemonstrator sind die Gewichtungen der Bewertungskriterien hinterlegt, die für die Systemumgebung der CP4 erarbeitet wurden.²²⁶ Die Gewichtungen der Bewertungskriterien (c_{ij}) müssen für ein Bewertungselement in Summe 100% ergeben. Die Summe der dargestellten Gewichtungen der Bewertungskriterien beträgt 90% (mit $c_{41}=30,0\%$, $c_{42}=30,0\%$, $c_{43}=10,0\%$, $c_{44}=10,0\%$, $c_{45}=10,0\%$), das nicht den geforderten 100% entspricht. Aus

²²⁶ vgl. Kap. 5.2.3.2

diesem Grund wird der Hinweis in roter Schriftfarbe eingeblendet, dass die Summe der Gewichtungen ungleich 100% ist. Damit das Bewertungselement in die Berechnung des EEF eingeht, muss das Entwicklerteam die Eingabe der Gewichtungen korrigieren.

6.2.3.3 Überprüfung bei implausiblen Gewichtungen der Bewertungselemente

Sofern implausible Gewichtungen für die Bewertungselemente eingegeben werden, meldet der Funktionsdemonstrator eine Fehlermeldung zurück. Dieser Fall ist am Beispiel des Bewertungselements *Beschaffungskonzept* (=5) in Abbildung 6.10 demonstriert.

Aktiv		Bitte auswählen						
$a_{ij} = 0,0\%$								
j	Frage	C_{ij}	Bewertung e_{ij}					
			Skala	sehr gering	gering	hoch	sehr hoch	
Beschaffungskonzept (=5)	1	Wie ist der Aufwand zur Realisierung der Variante im Rahmen der Lieferantenstrategie einzuschätzen?	8,2%	Skala	sehr gering	gering	hoch	sehr hoch
				Erklärung	Lieferant ist geeignet, wird präferiert	Lieferant ist geeignet, wird weniger stark präferiert	Lieferant ist weniger geeignet	Lieferant ist nicht geeignet
				e_{j1}				x
				Skala	sehr gering	gering	hoch	sehr hoch
				Erklärung	Mit Fertigungstechnik beim Lieferanten realisierbar	Mit Fertigungstechnik beim Lieferanten durch geringe Anpassungen realisierbar	Mit Fertigungstechnik beim Lieferanten durch große Anpassungen realisierbar	Fertigungstechnik ist beim Lieferanten nicht bekannt
			e_{j2}				x	
	2	Wie ist der Aufwand zur technischen Realisierung der Variante mit den Fertigungsverfahren und -prozessen beim Lieferanten einzuschätzen?	26,3%	Skala	sehr gering	gering	hoch	sehr hoch
				Erklärung	Mit Fertigungstechnik beim Lieferanten realisierbar	Mit Fertigungstechnik beim Lieferanten durch geringe Anpassungen realisierbar	Mit Fertigungstechnik beim Lieferanten durch große Anpassungen realisierbar	Fertigungstechnik ist beim Lieferanten nicht bekannt
			e_{j3}				x	
	3	Wie ist der Aufwand zur Realisierung des Kundentermins einzuschätzen?	26,9%	Skala	sehr gering	gering	hoch	sehr hoch
				Erklärung	Kundentermin ist realisierbar	Kundentermin ist realisierbar mit Umpriorisierung von Projekten	Kundentermin ist realisierbar mit Auflagen	Kundentermin ist nicht realisierbar
			e_{j4}				x	
	4	Wie ist der Kapazitätsbedarf beim Einkauf unter den geforderten Randbedingungen (Stückzahl, Kundentermin) einzuschätzen?	13,7%	Skala	sehr gering	gering	hoch	sehr hoch
				Erklärung	Mit personeller Kapazität realisierbar	Mit personeller Kapazität realisierbar durch Umpriorisierung von Projekten	Mit zeitlich begrenztem Mehraufwand der Mitarbeiter realisierbar	Mit personeller Kapazität nicht realisierbar, neue Mitarbeiter erforderlich
			e_{j5}				x	
	5	Wie sind die Kosten beim Einkauf zur Realisierung der Variante einzuschätzen?	24,9%	Skala	sehr gering	gering	hoch	sehr hoch
				Erklärung	0 € - 10.000 €	10.000 € - 50.000 €	50.000 € - 1 Mio. €	≥ 1 Mio. €
			e_{j6}				x	
6	Empfehlung	Nein						
Summe der Gewichtungen gleich 100%								
Summe der Gewichtungen der Bewertungselemente ungleich 100%								

Abbildung 6.10: Implausible Gewichtungen der Bewertungselemente im Funktionsdemonstrator

Der Aufbau und die Funktionen des Bewertungsbogens stimmen mit denen überein, die in Kapitel 6.2.2.1 beschrieben sind. Im Funktionsdemonstrator sind die Gewichtungen der Bewertungselemente hinterlegt, die für die Systemumgebung der CP4 erarbeitet wurden.²²⁷ Die Gewichtungen der Bewertungselemente (a_i) müssen in Summe 100% ergeben. Die Gewichtung des Bewertungselements *Beschaffungskonzept* wurde von 15,9% auf 0,0% reduziert. Die Gewichtungen der weiteren Bewertungselemente bleiben unverändert. Durch die Anpassung der Gewichtung für genau ein Bewertungselement entspricht die neue Summe nicht mehr den geforderten 100%. Demzufolge erscheint unterhalb des Bewertungselements die Anmerkung in roter Schriftfarbe, dass die Summe der Gewichtungen der Bewertungselemente ungleich 100% ist. Um die Berechnung des EEF durchführen zu können, muss das Entwicklerteam die Gewichtungen korrigieren.

6.2.4 Erkenntnisse zum Funktionsdemonstrator des Tools SPRYness

Im Folgenden sind die Erkenntnisse zur Entwicklung des Funktionsdemonstrators des Tools SPRYness aufgelistet und mit Ergebnissen aus der Entwicklung beschrieben

Der Funktionsdemonstrator wurde durch eine iterative Validierung kontinuierlich weiterentwickelt.

Der Funktionsdemonstrator wurde während der Phase der Arbeit²²⁸ *Umsetzung der Bewertungssystematik als Tool* mit Hilfe von Experten sowie während der Phase *Validierung der Arbeit* durch Anwendung des Tools SPRYness iterativ validiert und weiterentwickelt. Dies entspricht der iterativen Entwicklung der Elemente des Ziel- und Objektsystems, weswegen durch die Entwicklung des Funktionsdemonstrators die Anwendbarkeit des erweiterten ZHO-Modells²²⁹ für Tools an einem Beispiel gezeigt ist.

Der Funktionsdemonstrator ermöglicht als Element des Referenzsystems des Tools SPRYness einen geringen Aufwand zur Implementierung des Tools SPRYness.

²²⁷ vgl. Kap. 5.2.3.2

²²⁸ vgl. Kap. 3.2

²²⁹ vgl. Kap. 2.1.1.3

Der Aufbau und die Funktionen des Funktionsdemonstrators dienen bei der Implementierung des Tools SPRYness in Systemumgebungen weiterer CP als Gestaltungsgrundlage. Durch eine hohe ÜV des Funktionsdemonstrators wird ein geringer Aufwand zur Programmierung und Implementierung realisiert.

Bei der Entwicklung des Funktionsdemonstrators wurde ein geringer Aufwand zur Weiterentwicklung bei Änderungen sichergestellt.

Der Funktionsdemonstrator ist so gestaltet, dass eine bedarfsgerechte Anpassung der umgesetzten Bewertungsbögen mit den Bewertungskriterien, den Erklärungstexten der Bewertungsskala und den Gewichtungen durch die Entwicklerteams möglich ist. Infolgedessen kann der Funktionsdemonstrator mit geringem Aufwand für Systemumgebungen weiterer CP adaptiert werden.

Mit dem Funktionsdemonstrator wird eine transparente und nachvollziehbare Bewertung sowie nachhaltige Dokumentation der Bewertung realisiert.

Die Bewertungen der Bewertungselemente erfolgen mit dem Funktionsdemonstrator in einer Datei und werden in einem definierten Wissensmanagementsystem abgelegt. Durch eine kontinuierliche Versionierung bei der Ablage im Wissensmanagementsystem wird eine transparente, nachvollziehbare und nachhaltige Dokumentation der Bewertungen gewährleistet. Zudem sind die Bewertungen, die Gewichtungen und die Bewertungsergebnisse für alle Entwicklerteams einsehbar. Auf Basis der angezeigten Bewertungsergebnisse können die Entwicklerteams Maßnahmen transparent und bedarfsgerecht ableiten.

Der Funktionsdemonstrator umfasst einen einheitlichen Aufbau und ist intuitiv anwendbar.

Durch Fehlermeldungen bei implausiblen Bewertungen der Bewertungselemente und bei implausiblen Gewichtungen der Bewertungselemente und -kriterien sowie durch einen einheitlichen Aufbau der Bewertungselemente ist eine intuitive Anwendung des Funktionsdemonstrators realisiert.

6.3 Designdemonstrator des Tools SPRYness

Aufgrund der Verfügbarkeit in der Forschungsumgebung wurde der Designdemonstrator des Tools SPRYness mit der Webapplikation Axure RP modelliert. Das Vorgehen zur Modellierung des Designdemonstrators ist in Abbildung 6.11 dargestellt.

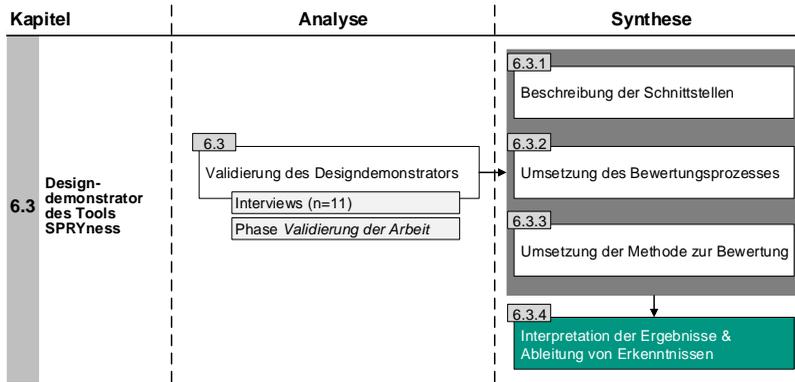


Abbildung 6.11: Vorgehen zur Modellierung des Designdemonstrators des Tools SPRYness

Verschiedene Analyse- und Syntheseaktivitäten wurden während der Modellierung durchgeführt, die in den Unterkapiteln beschrieben sind. Diese sind entweder in der Spalte Analyse oder in der Spalte Synthese aufgeführt. Bei der Modellierung wurden vorwiegend Syntheseaktivitäten durchgeführt, mit denen die Schnittstellen zu vor- und nachgelagerten Aktivitäten in der Angebotsphase (Synthese) (Kapitel 6.3.1), der umgesetzte Bewertungsprozess (Synthese) (Kapitel 6.3.2) und die umgesetzte Methode zur Bewertung (Synthese) (Kapitel 6.3.3) gemeinschaftlich modelliert wurden. Die Bedienoberflächen sind auf Grundlage von Screenshots des modellierten Designdemonstrators für die Systemumgebung der CP4 erläutert. Die Validierung des Designdemonstrators stellt die Aktivität der Analyse dar und basiert zum einen auf der Validierung des Designdemonstrators während der Entwicklung mit Hilfe von teilstandardisierten Interviews (n=11) (Analyse) (Kapitel 6.3). In diesen Interviews wurde der Entwicklungsfortschritt des Designdemonstrators regelmäßig vorgestellt und mit Experte10, Experte20, Experte21, Experte25, Experte26, Experte30, Experte31, Experte 33, Experte49, Experte50 und Experte51²³⁰ besprochen. Zum anderen wurden bei der Entwicklung des Designdemonstrators Erkenntnisse aus der Phase der Arbeit²³¹ *Validierung der Arbeit* (Kapitel 7) berücksichtigt. Das Unterkapitel mit den Erkenntnissen ist grün hervorgehoben. Die Erkenntnisse resultieren aus

²³⁰ vgl. Kap. 3.3.3: Involvierte Experten während des Forschungsprojekts

²³¹ vgl. Kap. 3.2

der Interpretation der Ergebnisse aus der Entwicklung des Designdemonstrators (Synthese) (Kapitel 6.3.4).

6.3.1 Schnittstellen des Designdemonstrators

In dem Designdemonstrator ist die Schnittstelle zu einem installierten Drucker realisiert, wodurch Berichte auf Basis einer ausgewählten und standardisierten Berichtsvorlage gedruckt werden können (Abbildung 6.12).

Hallo Natalie,
Welchen Bericht möchtest du heute generieren?

Wähle eine Variante: Variante

Wähle die Berichtsart: Managementbericht

Art des Meilensteins: QG1

Datum des Meilensteins: dd / yyyy

Wähle die anzuzeigenden Bewertungen innerhalb des Meilensteins:

- Produktstrategie
- Produktdesign
- Erprobungskonzept
- Managementkonzept
- EEF

Wähle die anzuzeigenden Bewertungsergebnisse:

- EEF1
- EEF2
- EEF3
- EEF4
- EEF5
- EEF6
- EEF7
- EEF8
- EEF9
- EEF10
- EEF11
- EEF12
- EEF13
- EEF14
- EEF15
- EEF16
- EEF17
- EEF18
- EEF19
- EEF20
- EEF21
- EEF22
- EEF23
- EEF24
- EEF25
- EEF26
- EEF27
- EEF28
- EEF29
- EEF30
- EEF31
- EEF32

Wähle die Anzeigenform:

- Tabelle
- Diagramm

Zurück Drucken Exportieren Teilen

Abbildung 6.12: Auswahl einer standardisierten Berichtsvorlage im Designdemonstrator

Die abgebildeten Inhalte sind reduziert dargestellt und dienen ausschließlich der Verdeutlichung. Mit Hilfe eines Dropdown-Menüs kann der Anwender eine Variante wählen, zu der ein Bericht generiert werden soll. Mit einem zweiten Dropdown-Menü erfolgt die Auswahl der Berichtsart. Im Falle eines Managementberichts spezifiziert der Anwender diese Berichtsart mit Hilfe des dritten Dropdown-Menüs durch die Auswahl des Meilensteins (z.B. QG1, QG2). Mit Hilfe eines integrierten Kalenders

kann das Datum des Meilensteins bestimmt werden. Das Entwicklerteam kann die Inhalte des Berichts konkretisieren, indem die standardmäßig aktivierten Checkboxen zu den anzuzeigenden Bewertungen der Bewertungselemente und der Bewertungsergebnisse (EEF und EEF_i) deaktiviert werden. Zudem besteht die Möglichkeit die Inhalte des Berichts in Form einer Tabelle und / oder in Form von Diagrammen darstellen zu lassen. Das Entwicklerteam gelangt durch den Button *Zurück* auf das zuletzt geöffnete Fenster des Designdemonstrators.

6.3.2 Bewertungsprozess innerhalb des Designdemonstrators

Im Folgenden sind die Bedienoberflächen zur Auswahl der nächsten Schritte vor der Bewertung (Kapitel 6.3.2.1), zur Auswahl der variablen Bewertungselemente (Kapitel 6.3.2.2) und zur Auswahl der nächsten Schritte nach der Bewertung (Kapitel 6.3.2.3) beschrieben.

6.3.2.1 Auswahl der nächsten Schritte vor der Bewertung

Nach der initialen Bewertung der angefragten Variante erfolgt die Differenzierung, ob die angefragte Variante in der Serienfertigung implementiert ist oder nicht (Abbildung 6.13).²³² Sofern diese in der Serienfertigung implementiert ist, kann das Entwicklerteam den dargestellten Button *mit Kostenkalkulation fortfahren* wählen. Im Falle, dass die Variante nicht in der Serienfertigung implementiert ist, muss das Entwicklerteam den Button *mit EEF Kalkulation fortfahren* wählen. Abhängig von dem gewählten Button werden die Entwicklerteams mit einer automatisch generierten Benachrichtigungsemail informiert, die bei nachfolgenden Aktivitäten beteiligt sind. Zur Veranschaulichung der bereits abgeschlossenen Aktivitäten sind diese grün eingefärbt und mit einem Haken als erledigt-Symbol gekennzeichnet. (Peglow, 2019)

²³² vgl. Kap. 5.1.3

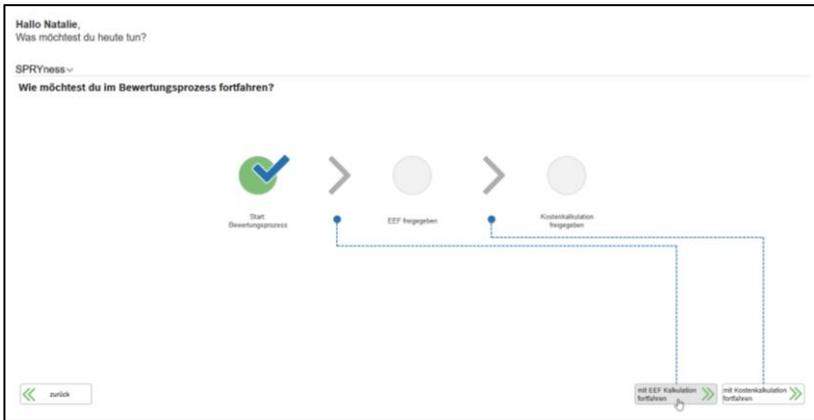


Abbildung 6.13: Auswahl der nächsten Schritte vor der Bewertung im Designdemonstrator (Peglow, 2019)

6.3.2.2 Auswahl der variablen Bewertungselemente

Die Auswahl der variablen Bewertungselemente erfolgt, nachdem die statischen Bewertungselemente bewertet sind.²³³ Die Auswahl erfolgt durch die in Abbildung 6.14 dargestellten Checkboxes für die variablen Bewertungselemente. Mit dem Button *bestätige die Auswahl* erhalten die Entwicklerteams eine standardisierte Benachrichtigungsemail, die bei der Bewertung der aktivierten, variablen Bewertungselemente involviert sind. Vorangehende Aktivitäten sind grün eingefärbt und mit einem Haken als erledigt-Symbol versehen. (Peglow, 2019)

²³³ vgl. Kap. 5.1.3

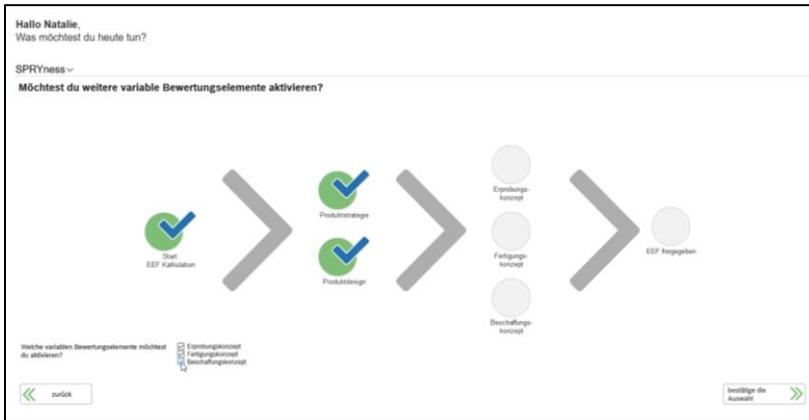


Abbildung 6.14: Auswahl der variablen Bewertungselemente im Designdemonstrator (Peglow, 2019)

6.3.2.3 Auswahl der nächsten Schritte nach der Bewertung

Abhängig von dem Bewertungsergebnis muss oder kann das Management in QG1 über das Bewertungsergebnis der Variante informiert werden.²³⁴ Die Aktivität, dass der EEF seitens des Lenkungsausschusses nicht freigegeben ist, ist orange eingefärbt und mit einem roten Kreuz als nicht-freigegeben Symbol abgebildet (Abbildung 6.15). Das Kundenteam kann in diesem Fall nur den Button *mit QG1 fortfahren* wählen, um das Bewertungsergebnis dem Management des Produktbereichs in QG1 vorzustellen. Wenn die Variante nicht dem Management vorgestellt werden muss, kann das Kundenteam den Button *mit QG1 fortfahren* oder den Button *mit Kostenkalkulation fortfahren* wählen. Die Aktivität, dass der EEF freigegeben ist, ist grün eingefärbt und mit einem Haken als erledigt-Symbol abgebildet. (Peglow, 2019)

²³⁴ vgl. Kap. 5.1.3

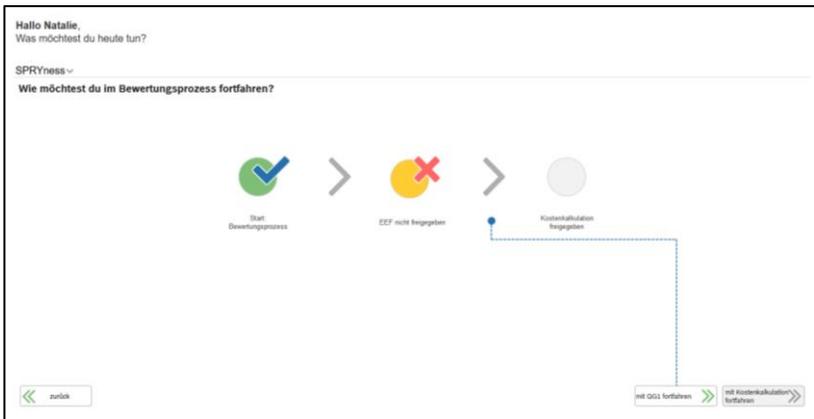


Abbildung 6.15: Auswahl der nächsten Schritte nach der Bewertung im Designdemonstrator (Peglow, 2019)

6.3.3 Methode zur Bewertung innerhalb des Designdemonstrators

Im Folgenden sind die Bedienoberflächen zur Bewertung der statischen (Kapitel 6.3.3.1) und der variablen (Kapitel 6.3.3.2) Bewertungselemente sowie die Bedienoberfläche mit den Bewertungsergebnissen (Kapitel 6.3.3.3) erläutert. Abgebildete Werte entsprechen beispielhaften Werten und die dargestellten Diagramme dienen ausschließlich zur Veranschaulichung.

6.3.3.1 Bewertung der statischen Bewertungselemente

Die Bewertung der statischen Bewertungselemente erfolgt in der in Abbildung 6.16 visualisierten Bedienoberfläche. In der rechten Hälfte der Bedienoberfläche sind die Bewertungsbögen²³⁵ der statischen Bewertungselemente *Produktstrategie* ($i=1$) und *Produktdesign* ($i=2$) integriert. Die sechs blauen Punkte über den Bewertungsbögen visualisieren die sechs Bewertungskriterien eines Bewertungselements.

²³⁵ vgl. Kap. 5.2.2

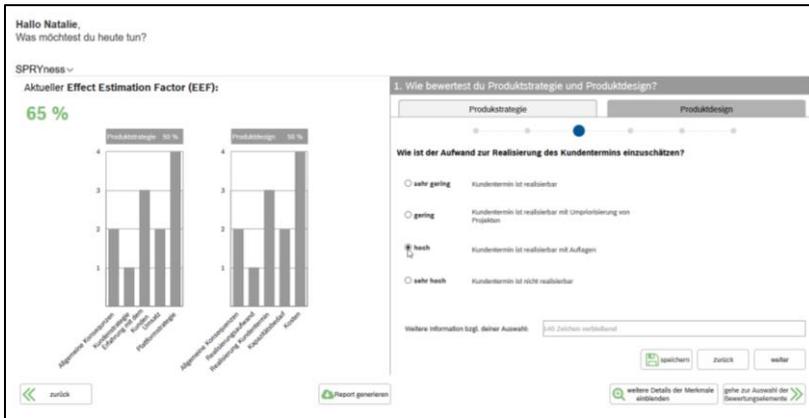


Abbildung 6.16: Bewertung der statischen Bewertungselemente im Designdemonstrator (Peglow, 2019)

Die Buttons *speichern* und *weiter* ermöglichen den Entwicklerteams die Bewertungen im Wissensmanagementsystem abzulegen und zwischen den Bewertungskriterien zu wechseln. Mit dem Button *weitere Details der Merkmale einblenden* kann sich das Entwicklerteam die zu bewertenden Produktmerkmale der Variante anzeigen lassen, die aus der initialen Bewertung des Produktprofils gegenüber dem Varianten-Referenzprodukt hervorgehen²³⁶. Mit dem Button *gehe zur Auswahl der Bewertungselemente* erhalten die Entwicklerteams eine automatisch generierte Benachrichtigungsemail, die bei der Auswahl der variablen Bewertungselemente unterstützen. Die Ergebnisse für die Berechnung des EEF, des EEF₁ und des EEF₂ sind in der linken Hälfte der Benutzeroberfläche schematisch verdeutlicht. Der Wert für den EEF ist das Bewertungsergebnis mit Hilfe der Bewertungskriterien in Real-time, der entsprechend der bedingten Formatierung in definierter Schriftfarbe²³⁷ dargestellt ist. Die Bewertungen der ersten fünf Bewertungskriterien eines Bewertungselements sind in Form von Stabdiagrammen dargestellt. Der Button *Report*

²³⁶ vgl. Kap. 2.3.1.3: Erläuterung zu den Aktivitäten in der Angebotsphase von Varianten

²³⁷ vgl. Kap. 6.2.2.3

generieren ermöglicht dem Entwicklerteam auf Grundlage einer standardisierten Berichtsvorlage einen Bericht zu generieren.²³⁸ (Peglow, 2019)

6.3.3.2 Bewertung der variablen Bewertungselemente

Analog zu der Bedienoberfläche zur Bewertung der statischen Bewertungselemente ist die Bedienoberfläche zur Bewertung der variablen Bewertungselemente aufgebaut (Abbildung 6.17).

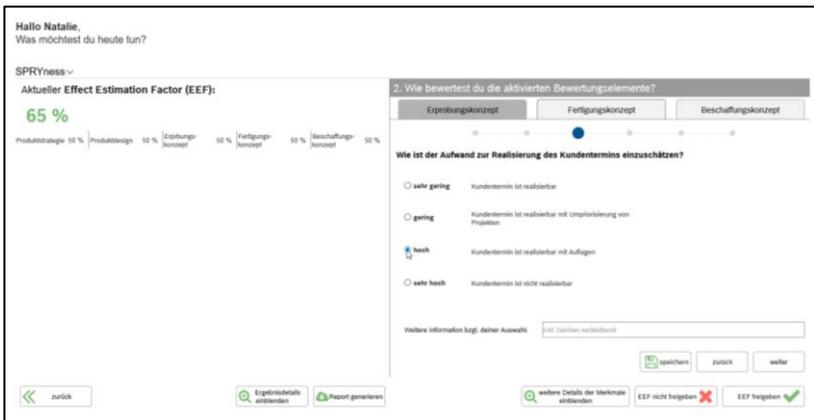


Abbildung 6.17: Bewertung der variablen Bewertungselemente im Designdemonstrator (Peglow, 2019)

In der rechten Hälfte der Bedienoberfläche sind die Bewertungsbögen²³⁹ der variablen Bewertungselemente *Erprobungskonzept* ($i=3$), *Fertigungskonzept* ($i=4$) und *Beschaffungskonzept* ($i=5$) abgebildet, sofern diese bei der Auswahl der variablen Bewertungselemente ausgewählt wurden. Die linke Hälfte der Bedienoberfläche dient der Veranschaulichung der Bewertungsergebnisse. Der EEF und die EEF _{i} (für $i=1,2,3,4,5$ mit $x_i=1$) sind die Bewertungsergebnisse in Realtime. Der EEF ist entsprechend der bedingten Formatierung in definierter Schriftfarbe²⁴⁰ visualisiert. Die

²³⁸ vgl. Kap. 6.3.1

²³⁹ vgl. Kap. 5.2.2

²⁴⁰ vgl. Kap. 6.2.2.3

Entwicklerteams können sich mit dem Button *Ergebnisdetails einblenden* (Kapitel 6.3.3.3) das Bewertungsergebnis in Form der Stabdiagramme übersichtlich anzeigen lassen. Sind alle Bewertungskriterien bewertet, erhält der Lenkungsausschuss eine automatisch generierte Benachrichtigungsemail. Abhängig vom berechneten EEF wählt der Lenkungsausschuss entweder den Button *EEF nicht freigeben* oder den Button *EEF freigeben*. Daraufhin erhalten die Entwicklerteams eine automatisch generierte Benachrichtigungsemail, die für nachfolgende Aktivitäten verantwortlich sind. (Peglow, 2019)

6.3.3.3 Anzeige des Bewertungsergebnisses

Wird in der Bedienoberfläche zur Bewertung der variablen Bewertungselemente der Button *Ergebnisdetails einblenden* gewählt, erscheint die Bedienoberfläche mit der Übersicht der Bewertungsergebnisse (Abbildung 6.18).

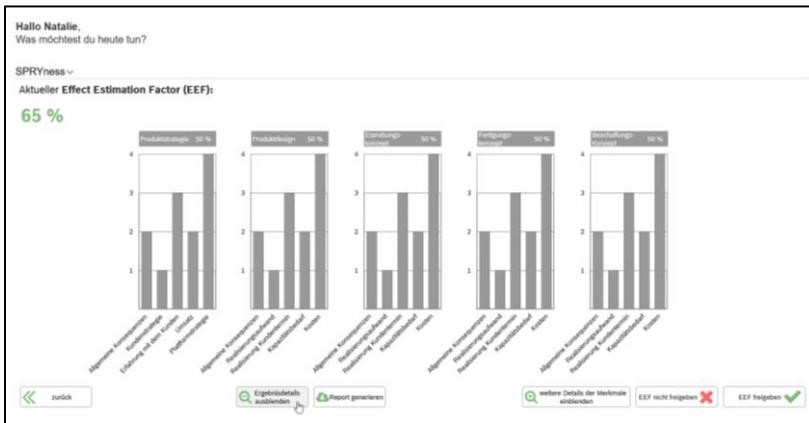


Abbildung 6.18: Anzeige des Bewertungsergebnisses im Designdemonstrator (Peglow, 2019)

Die Übersicht enthält den EEF und die EEF_i (für $i=1,2,3,4,5$ mit $x_i=1$) in Realtime. Der EEF ist entsprechend der bedingten Formatierung in definierter Schriftfarbe²⁴¹ abgebildet. Die Bewertungen der ersten fünf Bewertungskriterien sind für

²⁴¹ vgl. Kap. 6.2.2.3

jedes aktivierte Bewertungselement in Form eines Stabdiagramms visualisiert. Durch den Button *Ergebnisdetails ausblenden* gelangt das Entwicklerteam zurück zur Bedienoberfläche mit der Bewertung der variablen Bewertungselemente (Kapitel 6.3.3.2). (Peglow, 2019)

6.3.4 Erkenntnisse zum Designdemonstrator des Tools SPRYness

Im Folgenden sind die Erkenntnisse zur Modellierung des Designdemonstrators des Tools SPRYness aufgelistet und mit Ergebnissen aus der Modellierung beschrieben.

Der Designdemonstrator wurde durch eine iterative Validierung kontinuierlich weiterentwickelt.

Entsprechend des Funktionsdemonstrators wurde der Designdemonstrator während der Phase der Arbeit²⁴² *Umsetzung der Bewertungssystematik als Tool* mit Hilfe von Experten sowie während der Phase *Validierung der Arbeit* durch Anwendung des Tools SPRYness iterativ validiert und weiterentwickelt. Dies entspricht ebenfalls der iterativen Entwicklung der Elemente des Ziel- und Objektsystems. Aufgrund dessen ist durch die Entwicklung des Designdemonstrators die Anwendbarkeit des erweiterten ZHO-Modells²⁴³ für Tools an demselben Anwendungsfall mit einem zweiten Beispiel gezeigt.

Der Designdemonstrator ermöglicht als Element des Referenzsystems des Tools SPRYness einen geringen Aufwand zur Implementierung des Tools SPRYness.

Die Gestalt und die Bedienelemente des Designdemonstrators dienen bei der Implementierung des Tools SPRYness in Systemumgebungen weiterer CP als Gestaltungsgrundlage. Durch eine hohe ÜV des Designdemonstrators wird ein geringer Aufwand zur Programmierung und Implementierung realisiert.

Die Entwicklerteams werden intuitiv durch die Bedienoberflächen des Designdemonstrators geführt.

Symbolbasierte Bedienelemente (z.B. Haken für eine erledigte Aktivität) fördern ein anwendergerechtes Erleben bei der Anwendung des Designdemonstrators. Unterstützt wird dies durch die persönliche Anrede des Anwenders mit dem Vornamen

²⁴² vgl. Kap. 3.2

²⁴³ vgl. Kap. 2.1.1.3

und dem Verzicht auf die Höflichkeitsform *Sie*. In Form von direkten Fragen erhält der Anwender Informationen hinsichtlich der nächsten Schritte zur Anwendung des Designdemonstrators.

Die Bedienoberflächen des Designdemonstrators sind jeweils für die Bewertungsbögen der Bewertungselemente und für die nächsten Schritte der Bewertung einheitlich aufgebaut.

Die Bedienoberflächen zur Bewertung der Bewertungselemente enthalten einheitliche Bedienelemente und eine einheitliche Gestalt der Bewertungsbögen. Für die Bedienoberflächen für die Auswahl der nächsten Schritte im Bewertungsprozess sind ebenfalls einheitliche Bedienelemente verwendet.

6.4 Fazit zum Tool SPRYness zur Bewertung von Common-Rail Pumpen

Das Kapitel 6 umfasst die Ergebnisse der Phase der Arbeit²⁴⁴ *Umsetzung der Bewertungssystematik als Tool*. Das Tool SPRYness ist die toolgestützte Umsetzung der Bewertungssystematik und wurde erstmalig für die Systemumgebung der CP4 programmiert. Zur Unterstützung der Implementierung des Tools SPRYness in Systemumgebungen weiterer CP wurde das Produktprofil, der Funktions- und der Designdemonstrator des Tools SPRYness entwickelt.

Das Produktprofil des Tools SPRYness²⁴⁵ enthält ausgewählte Module des in der Literatur beschriebenen Produktprofils für die PGE - Produktgenerationsentwicklung²⁴⁶. Dazu zählt das Modul *Bild*, das die Erklärungen zur Namensgebung des Tools SPRYness umfasst. Mit dem Modul *Validierung des ... durch* sind die Anforderungen an das Tool SPRYness beschrieben. Die Entwicklungsfortschritte des Tools SPRYness sind während der Programmierung kontinuierlich hinsichtlich den Anforderungen zu validieren. Die Anforderungen, die in der Systemumgebung der CP4 bestimmt wurden, können im Vergleich zu möglichen Anforderungen in Systemumgebungen weiterer CP und in anderen Unternehmen unterschiedlich sein. Die Module *Anbieter-, Kunden- und Anwendernutzen* sind spezifiziert, um den Nutzen für die Kunden, Anwender und Anbieter des Tools SPRYness aufzuzeigen. Bei

²⁴⁴ vgl. Kap. 3.2

²⁴⁵ vgl. Kap. 6.1

²⁴⁶ vgl. Kap. 2.3.2.3

der Erarbeitung der Module haben Experten verschiedener Fachbereiche und Hierarchieebenen unterstützt. Zur Überprüfung der Erkenntnisse sind weitere Experten der CP4 und weiterer CP heranzuziehen.

Der Funktionsdemonstrator²⁴⁷ wurde auf Basis von Excel entwickelt. Da die Bewertungsbögen für die Bewertungselemente in einer Datei zusammengeführt sind, ist eine zeitgleiche Anwendung durch mehrere Entwicklerteams nicht möglich. Des Weiteren ist bei der Anwendung auf eine korrekte Versionierung der Datei zu achten. Der Funktionsdemonstrator dient als Element des Referenzsystems des Tools SPRYness vorwiegend als Grundlage für die Programmierung des Tools SPRYness. Neben der Beschreibung der Schnittstellen, sind auch der umgesetzte Bewertungsprozess und die umgesetzte Methode zur Bewertung innerhalb des Funktionsdemonstrators erläutert. In diesem Zusammenhang sind unter anderem die Bewertung der Bewertungselemente sowie mögliche Fehlermeldungen aufgeführt, die infolge implausibler Bewertungen auftreten können. Der Funktionsdemonstrator wurde durch iterative Validierungsaktivitäten kontinuierlich weiterentwickelt, bei denen Experten verschiedener Fachbereiche und Hierarchieebenen unterstützt haben. Um die Qualität des Funktionsdemonstrators zu verbessern, sind zusätzliche Experten – insbesondere potentielle Anwender – zu involvieren.

Der Designdemonstrator²⁴⁸ wurde mit Hilfe der Webapplikation Axure RP modelliert und dient der Demonstration der Bedienoberflächen des Tools SPRYness. Neben der Webapplikation Axure RP existieren weitere Applikationen zur Modellierung von Bedienoberflächen, mit denen gegebenenfalls davon abweichende interaktive Bedienelemente modellierbar sind. Der Designdemonstrator stellt als Element des Referenzsystems des Tools SPRYness eine Grundlage zur Programmierung des Tools SPRYness dar. Beruhend darauf können die Abstimmungen mit der Softwareentwicklung erleichtert werden. Sowohl die Schnittstellen zu vor- und nachgelagerten Aktivitäten in der Angebotsphase, als auch der umgesetzte Bewertungsprozess und die umgesetzte Methode zur Bewertung innerhalb des Designdemonstrators sind konkretisiert. Insbesondere bei der Modellierung des Bewertungsprozesses und der Darstellung des Bewertungsergebnisses wurde darauf geachtet, dass intuitive und optisch ansprechende Bedienelemente verwendet wurden. In iterativen Abstimmungen mit Experten verschiedener Fachbereiche und Hierarchieebenen wurde der Designdemonstrator kontinuierlich validiert und weiterentwickelt. Zur Erhöhung des Anwendererlebnisses sind weitere Bedienelemente mit Experten (z.B. potentielle Anwender oder Experten im Bereich des Mediendesigns) zu diskutieren.

²⁴⁷ vgl. Kap. 6.2

²⁴⁸ vgl. Kap. 6.3

7 Mehrwert durch die Bewertungssystematik und das Tool SPRYness

Dieses Kapitel umfasst die Forschungsergebnisse während der fünften Phase der Arbeit²⁴⁹ *Validierung der Arbeit*. Ziel der Phase ist die Beurteilung, inwiefern der in der Phase *Literaturrecherche* identifizierte und der in der Phase *Potentialfindung für die Bewertungssystematik* bei dem automobilen Zulieferer für CP spezifizierte Forschungsbedarf durch die Bewertungssystematik und das Tool SPRYness gedeckt wird.²⁵⁰ Zum einen wurde der Funktionsdemonstrator des Tools SPRYness mit der umgesetzten Bewertungssystematik für Varianten der CP4 angewendet (Kapitel 7.1). Zum anderen wurde die Übertragbarkeit der Bewertungssystematik für CP geprüft, indem die Bewertungssystematik für eine Implementierung des Tools SPRYness in die Systemumgebung der CP3 mit Experten diskutiert wurde (Kapitel 7.2). Die Beurteilungsergebnisse zur Anwendbarkeit und zur Übertragbarkeit wurden unter anderem bei der Beurteilung der Zielerreichung der Arbeit mit Hilfe der Anforderungen des Zielsystems der Bewertungssystematik²⁵¹ berücksichtigt (Kapitel 7.3). Im Fazit (Kapitel 7.4) sind die Ergebnisse zusammengefasst und reflektiert.

7.1 Anwendbarkeit der Bewertungssystematik für Varianten der CP4

Das Vorgehen zur Anwendung der Bewertungssystematik für Varianten der CP4 ist in Abbildung 7.1 verdeutlicht. Die Unterkapitel umfassen die Beschreibungen der Analyse- und der Syntheseaktivitäten, die während der Anwendung durchgeführt wurden. Diese sind entsprechend in der Spalte Analyse oder in der Spalte Synthese abgebildet. Zur Analyse dienen retrospektive Protokolle sowie Fallstudien. Durch die Syntheseaktivitäten wurden vor allem die Analyseergebnisse konsolidiert. Das Unterkapitel mit den Erkenntnissen ist grün hervorgehoben. Die Erkenntnisse resultieren aus der Interpretation der Ergebnisse aus der Untersuchung der Anwendbarkeit (Synthese) (Kapitel 7.1.4).

²⁴⁹ vgl. Kap. 3.2

²⁵⁰ vgl. Kap. 3.2

²⁵¹ vgl. Kap. 4.3.2

Auf Grundlage von retrospektiven Protokollen wurde mit Experte33²⁵² die Auswahl der Varianten und der Experten vorgenommen, da dieser das Änderungswesen inklusive des Variantenmanagements der CP4 betreut (Analyse). Identifiziert wurden vier ungeplante Varianten (V1, V2, V3, V4), die einen Neuheitsgrad 3 oder Neuheitsgrad 4²⁵³ aufweisen.

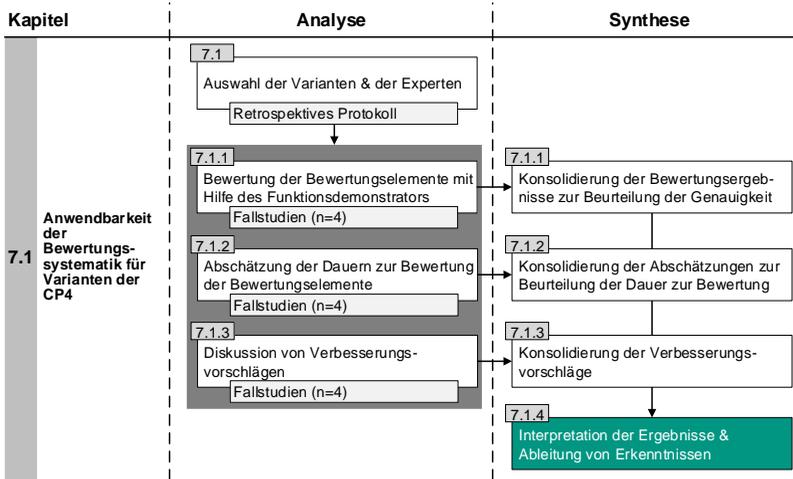


Abbildung 7.1: Vorgehen zur Untersuchung der Anwendbarkeit der Bewertungssystematik

Diese Varianten wurden von Kunden in der Vergangenheit angefragt und waren zum Zeitpunkt des Forschungsprojekts bereits in der Serienfertigung implementiert. Für die ausgewählten Varianten wurden die Experten bestimmt, die jeweils stellvertretend den Fachbereich repräsentieren, der zum Zeitpunkt der Variantenanfrage für die Bewertung hinsichtlich des zugeordneten Bewertungselements verantwortlich gewesen wäre. Mit Hilfe von Fallstudien (n=4) wurde die Anwendbarkeit der Bewertungssystematik für die vier Varianten in teilstandardisierten Interviews (n=14) untersucht. Für die Varianten haben elf von den 14 Experten die Bewertung des

²⁵² vgl. Kap. 3.3.3: Involvierte Experten während des Forschungsprojekts

²⁵³ vgl. Kap. 4.1.3: Differenzierung von Varianten mit Hilfe von Neuheitsgraden in der Systemumgebung der CP4

zugeordneten Bewertungselements vorgenommen. Die weiteren drei von den 14 Experten (Experte9, Experte25 und Experte33) haben bei der Auswertung der Bewertungsergebnisse unterstützt (Analyse) (Kapitel 7.1.1). Die Bewertungsergebnisse wurden anschließend konsolidiert, um die Genauigkeit der Bewertung zu beurteilen (Synthese) (Kapitel 7.1.1). Die Experten (n=11) haben zudem abgeschätzt, wie lange diese jeweils für die Bewertung des zugeordneten Bewertungselements zum damaligen Zeitpunkt benötigt hätten (Analyse) (Kapitel 7.1.2). Zur Beurteilung der Bewertungsdauern wurden die Abschätzungen der Experten konsolidiert (Synthese) (Kapitel 7.1.2). Mit den Experten (n=14) wurden während der Interviews Verbesserungsvorschläge diskutiert (Analyse) (Kapitel 7.1.3), die anschließend zusammengefasst wurden (Synthese) (Kapitel 7.1.3).

Die ausgewählten Varianten sind in Tabelle 34 aufgelistet. Auf Basis von retrospektiven Protokollen wurden Kennzeichen und Herausforderungen zum Zeitpunkt der Variantenanfrage ermittelt. Die erste Variante (V1) wurde im Jahr 2016 erstmalig angefragt und ist mit einem Neuheitsgrad 4 kategorisiert. Zu den Experten zählen Experte46 (Bewertungselement *Produktstrategie* (i=1)), Experte17 (Bewertungselemente *Produktdesign* (i=2), *Erprobungskonzept* (i=3)), Experte35 (Bewertungselement *Fertigungskonzept* (i=4)) und Experte40 (Bewertungselement *Beschaffungskonzept* (i=5)). Die zweite Variante (V2) wurde ebenfalls 2016 angefragt, die mit einem Neuheitsgrad 4 kategorisiert wurde. Die ausgewählten Experten sind Experte46 (Bewertungselement *Produktstrategie* (i=1)), Experte18 (Bewertungselemente *Produktdesign* (i=2), *Erprobungskonzept* (i=3)), Experte36 (Bewertungselement *Fertigungskonzept* (i=4)) und Experte43 (Bewertungselement *Beschaffungskonzept* (i=5)). Die Variantenanfrage der dritten Variante (V3) erfolgte 2014 und hat den Neuheitsgrad 3, da gemäß Experte33 die allgemeine Funktion der Variante am Markt und im Unternehmen bekannt war. Die ausgewählten Experten sind Experte47 (Bewertungselement *Produktstrategie* (i=1)), Experte16 (Bewertungselemente *Produktdesign* (i=2), *Erprobungskonzept* (i=3)), Experte37 (Bewertungselement *Fertigungskonzept* (i=4)) und Experte40 (Bewertungselement *Beschaffungskonzept* (i=5)). Aus dem Jahr 2013 stammt die Variantenanfrage der vierten Variante (V4) mit dem Neuheitsgrad 4. Zu den ausgewählten Experten gehören Experte46 (Bewertungselement *Produktstrategie* (i=1)), Experte19 (Bewertungselemente *Produktdesign* (i=2), *Erprobungskonzept* (i=3)), Experte35 (Bewertungselement *Fertigungskonzept* (i=4)) und Experte43 (Bewertungselement *Beschaffungskonzept* (i=5)). Alle vier Varianten wurden von strategischen Kunden angefragt und werden für die diese gefertigt. Auf den Varianten lag in der Angebotsphase Managementfokus, Kostendruck und zum Teil (V2, V3, V4) Qualitätsdruck. V3 und vor allem V4 umfassen die größte Anzahl an Herausforderungen. V3 und V4 weisen neue Baugruppen auf, wohingegen V1 und V2 ausschließlich neue Bauteile aufweisen. Zudem waren V3 und V4 unter anderem durch Auswirkungen auf

die organisatorische Zusammenarbeit, auf die Fertigung und auf die Montage sowie auf die Verpackung und auf das Logistikkonzept gekennzeichnet.

Tabelle 34: Kennzeichen und Herausforderungen der ausgewählten CP4-Varianten

	Kennzeichen und Herausforderungen	V1	V2	V3	V4
1	Neues Bauteil	✓	✓	✓	
2	Neue Baugruppe			✓	✓
3	Plattformanforderungen waren nicht erfüllt				✓
4	Wirkprinzip war nicht bekannt			✓	✓
5	Kundenwunsch	✓	✓	✓	✓
6	Weitere Kunden folgten zeitnah			✓	✓
7	Strategische(r) Kunde(n)	✓	✓	✓	✓
8	Managementfokus	✓	✓	✓	✓
9	Zeitdruck		✓	✓	✓
10	Kostendruck	✓	✓	✓	✓
11	Qualitätsdruck	✓		✓	✓
12	Zusammenarbeit mit vielen, verteilten Entwicklerteams unterschiedlicher Fachbereiche		✓	✓	✓
13	Neue(s) Fremdbezugsteil erfordert Angebotsverhandlungen mit Lieferant	✓	✓	✓	✓
14	Prozessentwicklung und Bemusterung beim Lieferanten notwendig			✓	✓
15	Prozessentwicklung in der Eigenfertigung notwendig			✓	✓
16	Neue Fertigungsanlage/-station in der Teilefertigung erforderlich	✓	✓	✓	✓
17	Prozessexperte für die neue Fertigungsanlage/-station in der Teilefertigung erforderlich			✓	✓
18	Fertigungsanlage/-station in der Teilefertigung muss im Produktionsnetzwerk implementierbar sein	✓	✓	✓	✓
19	Umbau von vorhandenen Fertigungsstationen in der Teilefertigung (teilweise) erforderlich			✓	✓
20	Neue Fertigungsanlage/-station in der Montage notwendig	✓		✓	✓
21	Prozessexperte für die neue Fertigungsanlage/-station in der Montage erforderlich			✓	✓
22	Fertigungsanlage/-station in der Montage muss im Produktionsnetzwerk implementierbar sein				✓
23	Umbau von vorhandenen Fertigungsstationen in der Montage (teilweise) erforderlich			✓	✓
24	Umbau von vorhandenen Prüfstationen erforderlich			✓	✓
25	Auswirkungen auf Verpackungseinheiten	✓		✓	✓
26	Auswirkungen auf das Logistikkonzept (z.B. Supermarkt, Kanban)	✓	✓	✓	✓
27	Neue Erprobung auf Baugruppenebene erforderlich		✓	✓	✓
28	Neue Erprobung auf Pumpenebene erforderlich				✓

7.1.1 Genauigkeit des Bewertungsalgorithmus

Die Experten (n=11) haben mit dem Funktionsdemonstrator²⁵⁴ die Bewertung der Bewertungselemente²⁵⁵ für die vier Varianten vorgenommen. Die Bewertungen der Bewertungselemente sind im Anhang zu finden. Die Auswertung der Bewertungen der Bewertungselemente für die CP4-Varianten sind in Tabelle 35 abgebildet.

Tabelle 35: Auswertung der Bewertungen der Bewertungselemente für die CP4-Varianten

	V1	V2	V3	V4
EEF ₁	42,87%	62,60%	73,85%	82,74%
EEF ₂	90,67%	24,80%	27,35%	5,98%
EEF ₃	nicht aktiv	nicht aktiv	38,87%	5,32%
EEF ₄	62,03%	32,07%	15,43%	5,90%
EEF ₅	58,34%	51,67%	43,37%	23,34%
EEF	53,08%	36,76%	33,29%	26,89%
Neuheitsgrad	4	4	3	4
Neuheitsgrad (%)	0% - 20%	0% - 20%	20% - 40%	0% - 20%
Übereinstimmung	x	(✓)	✓	(✓)
EEF ≤ 40%	nein	ja	ja	ja
Kritizität (Experte25)	nein	ja	ja	ja
Übereinstimmung	✓	✓	✓	✓

V1 weist mit dem höchsten der vier berechneten EEF-Werte ein mittleres Gesamtpotential auf (EEF=53,08%). Beim Vergleich der EEF, für V1 wird deutlich, dass insbesondere das Potential hinsichtlich des Bewertungselements *Produktdesign* (i=2) als sehr hoch eingestuft wurde (EEF₂=90,67%). Der EEF für V2 verdeutlicht ein geringes Gesamtpotential (EEF=36,76%). Dies ist auf den niedrigen EEF₂ des Bewertungselements *Produktdesign* (i=2) (EEF₂=24,80%) und auf den niedrigen EEF₄ des Bewertungselements *Fertigungskonzept* (i=4) (EEF₄=32,07%) zurückzuführen. V3 wurde mit einem geringen Gesamtpotential (EEF=33,29%) bewertet. Begründet ist dies durch die hoch eingeschätzten negativen Auswirkungen hinsichtlich der Bewertungselemente *Produktdesign* (i=2) (EEF₂=27,35%) und *Fertigungskonzept* (i=3)

²⁵⁴ vgl. Kap. 6.2

²⁵⁵ vgl. Kap. 5.2: Erläuterungen zu den Bewertungen der Bewertungselemente und der Berechnung des EEF und der EEF, mit i=1,2,3,4,5 für die fünf Bewertungselemente (Produktstrategie, Produktdesign, Erprobungskonzept, Fertigungskonzept, Beschaffungskonzept)

(EEF₄=15,43%). V4 verspricht mit einem geringen EEF von 26,89% im Vergleich zu V1, V2 und V3 das geringste Gesamtpotential (EEF=26,89%). Der EEF für V4 resultiert vor allem durch die sehr hoch eingestuften negativen Auswirkungen hinsichtlich der Bewertungselemente *Produktdesign* (i=2) (EEF₂=5,98%), *Erprobungskonzept* (i=3) (EEF₃=5,32%) und *Fertigungskonzept* (i=4) (EEF₄=5,90%).

Um die Genauigkeit der berechneten EEF für die vier Varianten zu überprüfen, hat Experte33 die Neuheitsgrade²⁵⁶ in prozentuale Werte auf einer Skala von 0% bis 100% – entsprechend der Kategorisierung des EEF im Funktionsdemonstrator²⁵⁷ – eingestuft (0% ≤ Neuheitsgrad 4 (%) ≤ 20%, 20% < Neuheitsgrad 3 (%) ≤ 40%, 40% < Neuheitsgrad 2 (%) ≤ 60%, 60% < Neuheitsgrad 1 (%) ≤ 80%, 80% < in der Serienfertigung implementierte Variante (%) ≤ 100%). Mit Hilfe der Einstufung wurde überprüft, ob die berechneten EEF mit den prozentualen Neuheitsgraden (%) übereinstimmen. Sofern die Einstufungen übereinstimmen, ist das Symbol ✓ in der Tabelle für die jeweilige Variante aufgeführt. Wenn die Einstufungen sich um eine Klasseneinteilung unterscheiden, ist das Symbol (✓) verwendet. Im Fall, dass sich die Einstufungen um zwei oder mehr Klasseneinteilungen unterscheiden, ist das Symbol × verwendet. Die Einstufungen für V3 stimmen überein. Für V1 wurde eine Unterscheidung um zwei Klasseneinteilungen und für V2 sowie für V4 jeweils um eine Klasseneinteilung identifiziert.

Mit Experte9 und Experte25 wurde ein Vorschlag für einen Grenzwert des EEF (≤ 40%) definiert. Bei Unterschreitung dieses Grenzwerts, hätte eine Variante dem Management in QG1 vorgestellt werden müssen²⁵⁸. Sofern ein berechneter EEF unter oder gleich 40% ist, ist dies in der Tabelle für die jeweilige Variante mit *ja* gekennzeichnet. Liegt der EEF über 40%, ist dies in der Tabelle für die jeweilige Variante mit *nein* gekennzeichnet. Die Kritizität der vier Varianten wurde zudem – unabhängig von der Berechnung des EEF – mit Experte25 diskutiert, ob die Vorstellung der Variante dem Management in QG1 sinnvoll (ja) oder nicht sinnvoll (nein) gewesen wäre. Beim Vergleich der Kritizitäten durch die berechneten EEF mit den durch Experte25 eingestuften Kritizitäten wird deutlich, dass die Kritizitäten für die vier Varianten übereinstimmen.

²⁵⁶ vgl. Kap. 4.1.3: Differenzierung von Varianten mit Hilfe von Neuheitsgraden in der Systemumgebung der CP4

²⁵⁷ vgl. Kap. 6.2.2.3

²⁵⁸ vgl. Kap. 5.1.3

7.1.2 Dauer zur Bewertung der Bewertungselemente

Die Experten (n=11) haben für die vier Varianten jeweils eingeschätzt, wie lange sie zum Zeitpunkt der Variantenanfrage mit dem damaligen Wissen zur Bewertung des zugeordneten Bewertungselements²⁵⁹ benötigt hätten (Dauer zur Bewertung des Bewertungselements i) (Tabelle 36). Die Untersuchung wurde auf einen vereinfachten und subjektiven Vergleich basierend auf Annahmen beschränkt, da ein exaktes Messverfahren eine Scheingenauigkeit postulieren würde. Tabelleneinträge sind deswegen zum Teil gerundet. Der Untersuchung liegt zugrunde, dass ein Arbeitstag (Tage) acht Stunden (Std.) und eine Stunde 60 Minuten (Min.) umfasst. In der Spalte \emptyset ist zeilenweise der Mittelwert der Werte für die vier Varianten aufgelistet. Durch spaltenweise Summation der Dauern zur Bewertung der fünf Bewertungselemente resultiert die Dauer zur Bewertung der Bewertungselemente für jede Variante. V1 (75 Min.) und V2 (180 Min.) haben die geringsten Dauern zur Bewertung der Bewertungselemente. Das ist darauf zurückzuführen, dass das Bewertungselement *Erprobungskonzept* (i=3) für V1 und V2 nicht aktiviert wurde. V3 (405 Min.) und V4 (690 Min.) haben die längsten Dauern zur Bewertung der Bewertungselemente. Auffällig sind die langen Dauern zur Bewertung für das Bewertungselement *Beschaffungskonzept* (i=5) (240 Min. für V3, 480 Min. für V4). Im Mittel beträgt die Dauer zur Bewertung der Bewertungselemente 364 Minuten. Die Dauer zur Bewertung des Bewertungselements *Beschaffungskonzept* (i=5) (191 Min.) geht im Mittel mit dem größten Anteil ein. Experte33 hat befürwortet, dass Abstimmungen in den fünf für die Bewertungselemente verantwortlichen Entwicklerteams mit 0,5 Stunden pro Entwicklerteam und Abstimmungen mit dem Lenkungsausschuss mit 1 Stunde zu berücksichtigen sind.²⁶⁰ Die Dauer zur Bewertung inklusive der Abstimmungen resultiert durch Summation der Dauer zur Bewertung der Bewertungselemente und den Abstimmungsdauern. Abhängig von der zur Verfügung stehenden Anzahl der Experten je Entwicklerteam wurden fachbereichsspezifisch ein bis fünf Arbeitstage für die Organisation von Terminen (z.B. Vor- und Nachbereiten von Dokumenten) einkalkuliert. Die Gesamtdauer zur Bewertung mit der Bewertungssystematik ist die Dauer zur Bewertung inklusive den Abstimmungen und der Dauer für organisatorische Tätigkeiten. Entsprechend den organisatorischen Tätigkeiten ist die Gesamtdauer zur Bewertung mit der Bewertungssystematik als Bereich von zwei Werten angegeben. Beispielsweise liegt die Gesamtdauer zur Bewertung mit der Bewertungssystematik im Mittel zwischen 2,2 und 6,2 Arbeitstagen.

²⁵⁹ vgl. Kap. 5.2: Erläuterungen zu den Bewertungen der Bewertungselemente mit i=1,2,3,4,5 für die fünf Bewertungselemente (Produktstrategie, Produktdesign, Erprobungskonzept, Fertigungskonzept, Beschaffungskonzept)

²⁶⁰ vgl. Kap. 5.1.3: Erläuterungen zu den Verantwortlichkeiten im Bewertungsprozess

Tabelle 36: Dauer zur Bewertung mit und ohne Bewertungssystematik für die CP4-Varianten

	V1	V2	V3	V4	∅
Dauer zur Bewertung des Bewertungselements i=1 (Min.)	15	15	15	60	26
Dauer zur Bewertung des Bewertungselements i=2 (Min.)	15	120	60	60	64
Dauer zur Bewertung des Bewertungselements i=3 (Min.)	-	-	60	45	53
Dauer zur Bewertung des Bewertungselements i=4 (Min.)	15	30	30	45	30
Dauer zur Bewertung des Bewertungselements i=5 (Min.)	30	15	240	480	191
Dauer zur Bewertung der Bewertungselemente (Min.)	75	180	405	690	364
Dauer zur Bewertung der Bewertungselemente (Std.)	1,3	3,0	6,8	11,5	6,1
Abstimmungsdauer in den Entwicklerteams (Std.)	2,5				2,5
Abstimmungsdauer mit dem Lenkungsausschuss (Std.)	1				1
Dauer zur Bewertung inkl. Abstimmungen (Std.)	4,8	6,5	10,3	15,0	9,6
Dauer für organisatorische Tätigkeiten (Tage)	1 – 5				1 - 5
Gesamtdauer zur Bewertung mit der Bewertungssystematik (Tage)	1,6 – 5,6	1,8 – 5,8	2,3 – 6,3	2,9 – 6,9	2,2 – 6,2
Dauer zur Bewertung ohne die Bewertungssystematik (Tage)	40	40	20	40	35
Durch die Bewertungssystematik ersetzbarer Anteil (%)	20				20
Durch die Bewertungssystematik ersetzbare Dauer (Tage)	8	8	4	8	7
Übereinstimmung	✓	✓	(✓)	✓	✓

Aus einem Gespräch mit Experte33 geht hervor, dass zum Zeitpunkt der Variantenanfrage die Dauer zur Bewertung inklusive der ökonomischen Bewertung in der Angebotsphase ohne die Bewertungssystematik für die untersuchten Varianten mit Neuheitsgrad 4 (V1, V2, V4) durchschnittlich bei 40 Arbeitstagen und für die V3 mit Neuheitsgrad 3 bei 20 Arbeitstagen lag. Gemäß Experte33 kann 20% der Dauer zur Bewertung ohne die Bewertungssystematik durch die Bewertungssystematik in der

Angebotsphase ersetzt werden. Daraus resultiert eine durch die Bewertungssystematik ersetzbare Dauer in der Angebotsphase von acht Arbeitstagen für V1, V2 und V4, von vier Arbeitstagen für V3 sowie von sieben Arbeitstagen im Mittel. Die Gesamtdauer zur Bewertung mit der Bewertungssystematik wurde mit der durch die Bewertungssystematik ersetzbaren Dauer in der Angebotsphase verglichen. Sofern die Gesamtdauer zur Bewertung mit der Bewertungssystematik geringer (\checkmark), teilweise geringer ($((\checkmark))$) oder größer (\times) als die durch die Bewertungssystematik ersetzbare Dauer in der Angebotsphase ist, ist in der Zeile zur Übereinstimmung das jeweilige Symbol aufgeführt. Die maximalen Gesamtdauern zur Bewertung mit der Bewertungssystematik sind für V1, V2 und V4 sowie für den Mittelwert kleiner als die durch die Bewertungssystematik ersetzbare Dauer zur Bewertung in der Angebotsphase. Mit den Bewertungen für die vier Varianten ist somit gezeigt, dass die Dauer für die Angebotsphase durch die Verwendung der Bewertungssystematik nicht erhöht wird.

7.1.3 Verbesserungsvorschläge während der Untersuchung der Anwendbarkeit

Bei der Bewertung der Bewertungselemente wurden Verbesserungsvorschläge und Ideen der Experten ($n=11$) zur Weiterentwicklung der Bewertungssystematik aufgenommen. Die Vorschläge wurden mit Experte9, Experte25 und Experte33 diskutiert. Aus der Untersuchung der Dauer zur Bewertung der Bewertungselemente mit und ohne der Bewertungssystematik geht für V3 hervor, dass teilweise eine Erhöhung der Angebotsdauer möglich ist. Dies hängt von der Klasseneinteilung für die Dauer der organisatorischen Tätigkeiten ab, weswegen Experte33 in diesem Fall eine detaillierte Analyse empfiehlt. Experte35 hat vorgeschlagen, die Bewertungssystematik langfristig zur Konzeptbewertung und -auswahl auszuweiten. Die Ausarbeitung des Vorschlags wird für weitere Forschungsarbeiten vorgeschlagen. Experte40 hat geäußert, dass V1 weit in der Vergangenheit liegt und ein detailliertes Wissen nicht mehr vorhanden ist. Für eine fundierte Evaluation der Bewertungssystematik erachtet Experte40 die Anwendung mit aktuellen Varianten als sinnvoll. Experte37 hat am Beispiel von V3 den Bedarf an einer unterschiedlichen Bewertung des Bewertungselements *Fertigungskonzept* ($i=4$) für die Teilefertigung und die Montage identifiziert. Experte25 befürwortet hinsichtlich der Effizienz in der Angebotsphase keine unterschiedliche Bewertung des Bewertungselements *Fertigungskonzept* ($i=4$) für die Teilefertigung und die Montage. Experte40 hat einen Vorschlag hinsichtlich zeitkritischer Variantenanfragen (z.B. V3, V4) geäußert. Ein zeitkritischer Ausnahmefall liegt dann vor, wenn die vom Kunden geforderte Angebotsdauer geringer ist als die vom Anbieter definierte Angebotsdauer. Experte40 empfiehlt weitere Untersuchun-

gen zur Gestaltung des Bewertungsprozesses für diese Ausnahmefälle. Die Bewertungsergebnisse der vier Varianten zeigen, dass die Einstufung in Neuheitsgrade nicht konsequent mit der Klassifizierung des EEF übereinstimmt. Die Systematisierung der Einstufung in Neuheitsgrade wird von Experte9 und Experte25 empfohlen. Ein erstes Konzept wurde dazu von Peglow et al. (2018)²⁶¹ entwickelt, wobei weitere Forschungsaktivitäten in diesem Zusammenhang notwendig sind.

7.1.4 Erkenntnisse zur Anwendbarkeit der Bewertungssystematik für Varianten der CP4

Im Folgenden sind die Erkenntnisse aus der Anwendung der Bewertungssystematik für CP4-Varianten hinsichtlich den adressierten Anforderungen des Zielsystems der Bewertungssystematik²⁶² aufgelistet und mit den Ergebnissen aus der Anwendung beschrieben.

Die Bewertungssystematik liefert im Wesentlichen ein genaues Bewertungsergebnis (Anforderung 2.1).

Die Bewertung der Bewertungselemente zeigt, dass die berechneten EEF für die ausgewählten Varianten mit den korrespondierenden Neuheitsgraden teilweise übereinstimmen. Die Kritizitäten, die aus der Berechnung des EEF resultieren, stimmen durchweg mit den durch einen Experten eingestuften Kritizitäten überein.

Mit der Bewertungssystematik kann die Entscheidung im Bewertungsprozess²⁶³, ob QG1 notwendig ist, formalisiert werden (Anforderung 7.5).

Die Kritikalität der CP4-Varianten wurde zum einen mit Hilfe der berechneten EEF-Werte und zum anderen mit Hilfe der Einstufung eines Experten bestimmt. Aus dem Vergleich beider Einstufungen geht hervor, dass die Berechnung des EEF und der vorgeschlagene Grenzwert von 40% für die Entscheidung im Bewertungsprozess herangezogen werden kann, ob eine betrachtete Variante dem Management in QG1 vorgestellt werden muss.

Die Anwendung der Bewertungssystematik führt im Mittel nicht zu einer Erhöhung der Dauer der Angebotsphase (Anforderung 7.2).

²⁶¹ Co-betreute Masterarbeit, die in einem Konferenzbeitrag veröffentlicht wurde

²⁶² vgl. Kap. 4.3.2

²⁶³ vgl. Kap. 5.1.3

Im Durchschnitt liegt die Gesamtdauer zur Bewertung mit der Bewertungssystematik zwischen 2,2 und 6,2 Arbeitstagen. Der Mittelwert für die Dauer zur Bewertung - ohne Bewertungssystematik - ist sieben Arbeitstage. Aus dem Vergleich der beiden Dauern resultiert, dass im Mittel die Dauer der Angebotsphase nicht erhöht wird.

Die Bewertungssystematik ist anwendbar (Anforderung 2.5).

Am Beispiel der CP4-Varianten wurde verdeutlicht, dass der Funktionsdemonstrator und somit die Bewertungssystematik anwendbar ist.

Die Experten der CP4 befürworten die Anwendung der Bewertungssystematik in der Systemumgebung der CP4. Dies lässt auf die Akzeptanz der Bewertungssystematik seitens der CP4-Experten schließen (Anforderung 2.6).

Aus den Expertengesprächen geht eine positive Einstellung der Experten gegenüber der Bewertungssystematik hervor. Die Experten erachten die Implementierung grundsätzlich als eine praxistaugliche Lösung zur Deckung des Bedarfs in der Systemumgebung der CP4²⁶⁴.

7.2 Übertragbarkeit der Bewertungssystematik für die CP3

Das Vorgehen zur Untersuchung der Übertragbarkeit für Systemumgebungen weiterer CP ist in Abbildung 7.2 visualisiert. Stellvertretend für Systemumgebungen weiterer CP wurde die Übertragbarkeit mit Experten der CP3 untersucht. Während der Untersuchung wurden Analyse- und Syntheseaktivitäten durchgeführt, die in den Unterkapiteln beschrieben sind. Die Aktivitäten sind entweder in der Spalte Analyse oder in der Spalte Synthese aufgeführt. Die Analyseaktivitäten beruhen auf teilstandardisierten bzw. standardisierten Interviews (n=6), in denen die Bewertungsbögen mit den Bewertungskriterien²⁶⁵ vorgestellt und eine mögliche Implementierung der Bewertungssystematik in die Systemumgebung der CP3 diskutiert wurde. Die ausgewählten Experten sind die Experten, die bei der Überprüfung der Gültigkeit der Anforderungen des Zielsystems der Bewertungssystematik für CP involviert waren.²⁶⁶

²⁶⁴ vgl. Kap. 4.3: Bedarf im Umgang mit Variantenvielfalt der CP4

²⁶⁵ vgl. Kap. 5.2.2

²⁶⁶ vgl. Kap. 4.3.3

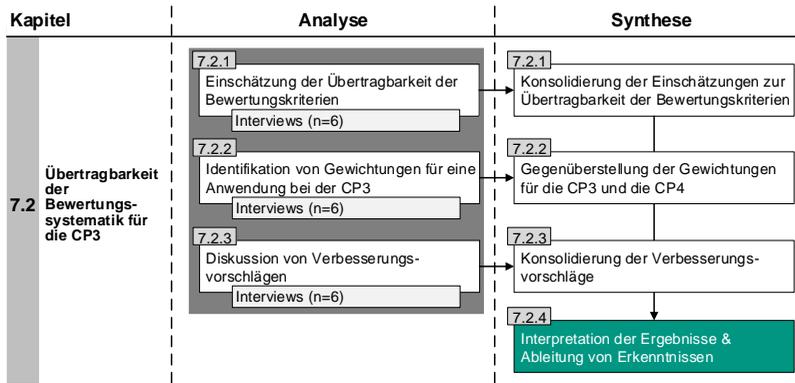


Abbildung 7.2: Vorgehen zur Untersuchung der Übertragbarkeit der Bewertungssystematik

Zu den Experten zählen Experte12, Experte14, Experte25, Experte28, Experte41 und Experte48.²⁶⁷ Mit den Syntheseaktivitäten wurden vor allem die Ergebnisse aus den Interviews konsolidiert und gegenübergestellt. Das Unterkapitel mit den Erkenntnissen ist grün hervorgehoben. Die Erkenntnisse resultieren aus der Interpretation der Ergebnisse aus der Untersuchung der Übertragbarkeit (Synthese) (Kapitel 7.2.4). Zum einen haben die Experten eingeschätzt, ob die Bewertungskriterien für eine potentielle Implementierung der Bewertungssystematik in die Systemumgebung der CP3 relevant sind (Analyse) (Kapitel 7.2.1). Die Einschätzungen wurden anschließend miteinander verglichen (Synthese) (Kapitel 7.2.1). Zum anderen haben die Experten Gewichtungen zur Anwendung des Bewertungsalgorithmus²⁶⁸ für die Systemumgebung der CP3 erarbeitet (Analyse) (Kapitel 7.2.2). Die Gewichtungen für die CP3 wurden den Gewichtungen für die CP4 gegenübergestellt (Synthese) (Kapitel 7.2.2). Zusätzlich wurden mit den Experten Vorschläge zur Verbesserung der Bewertungssystematik diskutiert (Analyse) (Kapitel 7.2.3), die anschließend konsolidiert wurden (Synthese) (Kapitel 7.2.3).

²⁶⁷ vgl. Kap. 3.3.3: Involvierte Experten während des Forschungsprojekts

²⁶⁸ vgl. Kap. 5.2.3.2: Vorgehen zur Bestimmung der Gewichtungen zur Anwendung des Bewertungsalgorithmus

7.2.1 Übertragbarkeit der Bewertungskriterien

In Interviews (n=6) wurden die Bewertungsbögen der Bewertungselemente (i=1,2,3,4,5) mit den Bewertungskriterien (j=1,2,3,4,5,6)²⁶⁹ vorgestellt. Im Allgemeinen erachten die Experten die Bewertungssystematik in der Systemumgebung der CP3 als anwendbar. Im Speziellen wurden mit den Experten jeweils die Bewertungskriterien für jedes Bewertungselement hinsichtlich der Relevanz für eine Implementierung der Bewertungssystematik in die Systemumgebung der CP3 durchgesprochen (Tabelle 37). Sofern ein Experte ein Bewertungskriterium uneingeschränkt als relevant einstuft, ist es mit dem Symbol ✓ gekennzeichnet. Stuft der Experte das Bewertungskriterium als nicht relevant ein, ist dieses mit dem Symbol × gekennzeichnet. Das Symbol (✓) repräsentiert ein relevantes Bewertungskriterium, für welches die Anpassung der Bewertungsskala empfohlen wird. Die Experten haben hinsichtlich der Phase des Produktlebenszyklus vorgeschlagen, dass manche Bewertungskriterien als K.O.-Kriterien im System hinterlegt sein sollten. Dies ist durch das Symbol ! verdeutlicht. Zum Beispiel empfiehlt Experte48 die Anpassung der Bewertungsskala für das Bewertungskriterium *Umsatz* (j=5) des Bewertungselements *Produktstrategie* (i=1). Wegen der Phase des Produktlebenszyklus und des fokussierten Marktes für Nutzfahrzeuge wird die CP3 mit einer geringeren Stückzahl produziert. Demzufolge sind andere Erklärungstexte der Bewertungsskala zur Kategorisierung des Umsatzes notwendig. Experte25 fordert, dass das Bewertungskriterium *Allgemeine Konsequenzen* (j=1) des Bewertungselements *Produktstrategie* (i=1) als K.O.-Kriterium deklariert wird. Im Fall, dass es sich um eine kundenindividuelle Sonderlösung handelt (Ausprägung der Bewertungsskala: sehr gering), soll die Auswahl der Ausprägung zu einem kritischen EEF mit sehr geringem Potential der Variante führen. Zur Auswertung der Einschätzungen durch die Experten wurden die Symbole für jedes Bewertungskriterium miteinander verglichen. Das Symbol, das am häufigsten zur Einschätzung eines Bewertungskriteriums genutzt wurde, verdeutlicht das Gesamtergebnis. Sofern es kein eindeutiges Ergebnis gibt, wird die Einstufung des Experten²⁵ doppelt gewertet, da er ein fachbereichsübergreifendes Fachwissen auf Managementebene hinsichtlich der CP aufweist. Aus der Spalte des Gesamtergebnis geht hervor, dass alle Bewertungskriterien übertragbar sind.

²⁶⁹ vgl. Kap. 5.2.2

Tabelle 37: Übertragbarkeit der Bewertungskriterien

i	j	Experte12	Experte14	Experte25	Experte28	Experte41	Experte48	Gesamt
1	1	✓	✓	!	✓	✓	×	✓
	2	✓	✓	✓	✓	!	✓	✓
	3	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	4	✓	(✓)	✓	✓	✓	(✓)	✓
	5	✓	×	!	✓	✓	✓	✓
	6	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
2	1	✓	✓	!	✓	✓	✓	✓
	2	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	3	✓	✓	(✓)	✓	✓	✓	✓
	4	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	5	✓	(✓)	✓	✓	✓	(✓)	✓
	6	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
3	1	×	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	2	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	3	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	4	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	5	✓	(✓)	✓	✓	✓	✓	✓
	6	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
4	1	✓	✓	!	✓	✓	×	✓
	2	✓	✓	!	✓	✓	✓	✓
	3	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	4	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	5	✓	(✓)	✓	✓	✓	✓	✓
	6	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
5	1	✓	✓	!	✓	✓	✓	✓
	2	✓	✓	!	✓	✓	✓	✓
	3	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	4	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	5	✓	(✓)	✓	✓	✓	✓	✓
	6	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Legende:			
✓	übertragbar	(✓)	übertragbar mit angepasster Bewertungsskala
×	nicht übertragbar	!	übertragbar mit vorab festgelegter Ausprägung

7.2.2 Übertragbarkeit des Bewertungsalgorithmus

Mit den Experten (n=6) wurde ein Vorschlag für Gewichtungen der Bewertungselemente (a_i) und der Bewertungskriterien jeweils für die Bewertungselemente (c_{ij}) für eine Implementierung der Bewertungssystematik in die Systemumgebung der CP3 erarbeitet.²⁷⁰ Im Anhang sind die dafür erarbeiteten paarweisen Vergleiche der Experten der CP3 zu finden.

In Tabelle 38 sind für jeden Experten die resultierenden Gewichtungen der Bewertungselemente und die Ergebnisse des Konsistenzchecks zu den paarweisen Vergleichen für die CP3 aufgeführt.

Tabelle 38: Vergleich der Gewichtungen für die Bewertungselemente

	Bewertungselemente					Konsistenzcheck		
	i=1	i=2	i=3	i=4	i=5	λ_{\max}	CI	CR
Experte12	40,2%	20,3%	7,4%	20,3%	11,8%	5,35	0,09	7,9%
Experte14	20,0%	20,0%	20,0%	20,0%	20,0%	5,00	0,00	0,0%
Experte25	34,8%	14,7%	9,5%	22,8%	18,3%	5,24	0,06	5,5%
Experte28	16,8%	11,1%	16,8%	27,6%	27,6%	5,58	0,15	13,2%
Experte41	47,4%	7,8%	12,0%	16,4%	16,4%	5,15	0,04	3,3%
Experte48	44,4%	16,1%	7,5%	18,4%	13,5%	5,75	0,19	16,8%
a_i für CP3	33,9%	15,0%	12,2%	20,9%	17,9%			
s_i für CP3	12,8%	4,9%	5,2%	3,9%	5,6%			
a_i für CP4	29,5%	19,0%	12,3%	23,2%	15,9%			
Δa_i	4,4%	-4,0%	-0,1%	-2,3%	2,0%			

Legende	i	Index für Bewertungselemente	λ_{\max}	maximaler Eigenwert
	a_i	Gewichtungen der Bewertungselemente	CI	Konsistenzindex
	s_i	Standardabweichung der Bewertungselemente	CR	Konsistenzwert

²⁷⁰ vgl. Kap. 5.2.3.2: Das Vorgehen entspricht dem Vorgehen zur Erarbeitung der Gewichtungen für die CP4 mit Hilfe des paarweisen Vergleichs und dem Konsistenzcheck

Die Berechnungen verdeutlichen, dass die Konsistenzwerte unter dem Grenzwert von 20% liegen. Alle sechs paarweisen Vergleiche gehen somit in den Vorschlag für Gewichtungen der Bewertungselemente (a_i für CP3) ein. Der Vorschlag beinhaltet die Mittelwerte für jedes Bewertungselement. Zusätzlich wurden die Standardabweichungen zwischen den Gewichtungsfaktoren der Experten (s_i für CP3) ermittelt. Das Bewertungselement *Produktstrategie* ($i=1$) wurde am höchsten gewichtet (33,9%) und weist die größte Standardabweichung auf (12,8%-Punkte). Der Vorschlag für die Gewichtungen, der mit Experten der CP3 erarbeitet ist (a_i für CP3), wurde mit dem Vorschlag, der mit Experten der CP4 erarbeitet ist (a_i für CP4) (vgl. Tabelle 22), verglichen. Für jedes Bewertungselement ist das Delta zwischen den Gewichtungen gebildet (Δa_i). Die größten Differenzen wurden für die Bewertungselemente *Produktstrategie* ($i=1$) (4,4%-Punkte) und *Produktdesign* ($i=2$) (-4,0%-Punkte) bestimmt.

Tabelle 39 sind die Gewichtungen für die Bewertungskriterien der Bewertungselemente abgebildet. Entsprechend den zugeordneten Bewertungselementen zu den Fachbereichen²⁷¹, haben die Experten jeweils den paarweisen Vergleich für das entsprechende Bewertungselement vorgenommen. Aufgrund seines fachbereichsübergreifenden Fachwissens hat Experte²⁵ für alle Bewertungselemente einen paarweisen Vergleich erarbeitet. Aus den Ergebnissen des Konsistenzchecks wird ersichtlich, dass die Konsistenzwerte (CR) der paarweisen Vergleiche kleiner als der Grenzwert von 20% sind. Folglich gehen die Gewichtungen der Experten – abhängig von den zugeordneten Bewertungselementen – in die spaltenweise Berechnung der Mittelwerte ein, die den Vorschlag für Gewichtungen der Bewertungskriterien (c_{ij} für CP3) darstellen. Die Standardabweichung (s_{ij} für CP3) verdeutlicht jeweils die Streuung zwischen den Gewichtungen der Experten. Die Abweichungen der Gewichtungen für die CP3 gegenüber den Gewichtungen für die CP4 sind durch das Delta (Δc_{ij}) gekennzeichnet.

²⁷¹ vgl. Kap. 5.1.3

Tabelle 39: Vergleich der Gewichtungen für die Bewertungskriterien

		Bewertungskriterien					Konsistenzcheck		
		j=1	j=2	j=3	j=4	j=5	λ_{max}	CI	CR
i=1	Experte25	27,1%	36,5%	10,6%	7,5%	18,3%	5,45	0,11	10,1%
	Experte48	25,1%	33,4%	20,4%	6,0%	15,0%	5,68	0,17	15,3%
	c_{1j} für CP3	26,1%	35,0%	15,5%	6,8%	16,6%			
	s _{1j} für CP3	1,4%	2,2%	7,0%	1,1%	2,4%			
	c_{1j} für CP4	21,6%	25,7%	6,5%	22,5%	23,8%			
	Δc_{1j}	4,6%	9,3%	9,1%	-15,8%	-7,1%			
i=2	Experte12	5,9%	13,4%	35,0%	22,8%	22,9%	5,57	0,14	12,9%
	Experte14	6,2%	22,3%	24,6%	22,3%	24,6%	5,04	0,01	0,9%
	Experte25	26,2%	34,2%	18,3%	8,5%	12,9%	5,74	0,18	16,6%
	c_{2j} für CP3	12,7%	23,3%	26,0%	17,9%	20,1%			
	s _{2j} für CP3	11,6%	10,4%	8,4%	8,1%	6,3%			
	c_{2j} für CP4	5,7%	18,0%	38,5%	22,3%	15,5%			
Δc_{2j}	7,0%	5,3%	-12,6%	-4,4%	4,6%				
i=3	Experte14	6,2%	22,3%	24,6%	22,3%	24,6%	5,04	0,01	0,9%
	Experte25	15,6%	31,3%	32,7%	7,8%	12,5%	5,78	0,19	17,5%
	c_{3j} für CP3	10,9%	26,8%	28,7%	15,1%	18,6%			
	s _{3j} für CP3	6,7%	6,4%	5,7%	10,2%	8,6%			
	c_{3j} für CP4	29,0%	18,1%	26,7%	16,0%	10,1%			
	Δc_{3j}	-18,2%	8,7%	1,9%	-0,9%	8,5%			
i=4	Experte25	4,6%	9,4%	35,1%	15,8%	35,1%	5,78	0,19	17,5%
	Experte28	9,2%	23,9%	42,9%	10,9%	13,3%	5,29	0,07	6,5%
	c_{4j} für CP3	6,9%	16,6%	39,0%	13,3%	24,2%			
	s _{4j} für CP3	3,2%	10,2%	5,5%	3,5%	15,4%			
	c_{4j} für CP4	13,9%	25,8%	17,7%	16,6%	26,0%			
	Δc_{4j}	-7,0%	-9,2%	21,3%	-3,2%	-1,9%			
i=5	Experte25	36,6%	16,9%	27,0%	9,0%	10,6%	5,33	0,08	7,4%
	Experte41	6,5%	30,8%	14,0%	20,8%	27,9%	5,88	0,22	19,9%
	c_{5j} für CP3	21,6%	23,9%	20,5%	14,9%	19,2%			
	s _{5j} für CP3	21,2%	9,8%	9,2%	8,3%	12,2%			
	c_{5j} für CP4	8,2%	26,3%	26,9%	13,7%	24,9%			
	Δc_{5j}	13,3%	-2,5%	-6,4%	1,2%	-5,7%			
Legende	i	Index für Bewertungselemente			j	Index für Bewertungskriterien			
	c _{ij}	Gewichtungen der Bewertungskriterien			s _{ij}	Standardabweichung der Bewertungskriterien			
	λ_{max}	maximaler Eigenwert			CI	Konsistenzindex			
	CR	Konsistenzwert							

Im Vergleich zu der Gewichtung für die CP4 hat das Bewertungskriterium *Kundenstrategie* (j=2) (9,3%-Punkte) des Bewertungselements *Produktstrategie* (i=1) am stärksten an Bedeutung gewonnen. Hinsichtlich des Bewertungselements *Produktdesign* (i=2) ist die Gewichtung für das Bewertungskriterium *Allgemeine Konsequenzen* (j=1) (7,0%-Punkte) gegenüber der Gewichtung für die CP4 größer geworden. In Bezug auf das Bewertungselement *Erprobungskonzept* (i=3) wurde vergleichsweise die größte positive Differenz für das Bewertungskriterium *Technischer Realisierungsaufwand* (j=2) (8,7%-Punkte) identifiziert. Mit Hinblick auf das Bewertungselement *Fertigungskonzept* (i=4) wurde das Bewertungskriterium *Realisierung Kundentermin* (j=3) (21,3%-Punkte) im Vergleich zur Gewichtung für die CP4 als relevanter bewertet. Für das Bewertungselement *Beschaffungskonzept* (i=5) wurde gegenüber der Gewichtung für die CP4 der größte Zuwachs für das Bewertungskriterium *Allgemeine Konsequenzen* (j=1) (13,3%-Punkte) bestimmt.

7.2.3 Verbesserungsvorschläge während der Untersuchung der Übertragbarkeit

Bei der Untersuchung haben die Experten (n=6) Verbesserungsvorschläge und Ideen zur Weiterentwicklung genannt, die mit Hilfe der Randbedingungen des Zielsystems der Bewertungssystematik²⁷² erörtert sind. Experte14, Experte25, Experte28, Experte41 und Experte48 befürworten unabhängig voneinander eine Anpassung der Bewertungsskala für bestimmte Bewertungskriterien für eine Implementierung der Bewertungssystematik in die Systemumgebung der CP3. Insbesondere erachten die Experten für das Bewertungskriterium *Kosten* (j=5) der technischen Bewertungselemente (i=2,3,4,5) und für das Bewertungskriterium *Umsatz* (j=4) des Bewertungselements *Produktstrategie* (i=1) die Anpassung der Erklärungstexte der Bewertungsskala als notwendig. Darüber hinaus soll für jede CP festgelegt werden können, ob es sinnvoll ist, Bewertungskriterien als K.O.-Kriterien zu deklarieren. Experte14, Experte25 und Experte48 haben angemerkt, dass die Integration von bestehenden Datensätzen (z.B. SAP) bei der Bewertung von bestimmten Bewertungskriterien hilfreich sein kann. Gemäß der Aussage des Experten25 ist über die Aufnahme eines Bewertungselements *Qualitätskonzept* nachzudenken. Experte28 führt an, dass – abhängig von der Phase des Produktlebenszyklus – die Bewertungskriterien unterschiedlich gewichtet sein sollten. Bei der Umsetzung der Bewertungssystematik als Tool²⁷³ wurde auf eine einfache Adaptierbarkeit der Bewertungsbögen mit den Erklärungstexten der Bewertungsskala und den Gewichtungen zu den Bewertungskriterien geachtet (Randbedingung 8.2). Zudem wurden bei

²⁷² vgl. Kap. 4.3.2

²⁷³ vgl. Kap. 6

der Umsetzung Schnittstellen zu angrenzenden Systemen (z.B. SAP) berücksichtigt. Laut Experte¹² und Experte²⁵ werden bei der Anwendung der Bewertungssystematik Daten generiert, die bei einer nachhaltigen Dokumentation mit Hilfe eines einheitlichen Wissensmanagementsystems (Randbedingung 8.3) als Datengrundlage für strategische Analysen und zur Ausrichtung des Produktportfolios genutzt werden können.

7.2.4 Erkenntnisse zur Übertragbarkeit der Bewertungssystematik für die CP3

Im Folgenden sind die Erkenntnisse aus der Untersuchung zur Übertragbarkeit hinsichtlich den adressierten Anforderungen des Zielsystems der Bewertungssystematik²⁷⁴ aufgelistet und mit den Ergebnissen aus der Untersuchung beschrieben.

Die Bewertungssystematik kann auf weitere CP (Anforderung 6.1) und teilweise auf unterschiedliche Phasen des Produktlebenszyklus (Anforderung 6.2) übertragen werden.

Im Allgemeinen können die Bewertungselemente mit den Bewertungskriterien in der Systemumgebung der CP3 angewendet werden. Aufgrund der fortgeschrittenen Phase im Produktlebenszyklus empfehlen die Experten für eine Implementierung der Bewertungssystematik in die Systemumgebung der CP3 weitere Untersuchungen hinsichtlich der Bewertungsskala.

Unter anderem kann mit der Bewertungssystematik ein zielgerichteter Umgang mit Variantenvielfalt in der Angebotsphase realisiert werden (Anforderung 7.3).

Der Vergleich der Gewichtungen für die CP3 und für die CP4 zeigt, dass die Gewichtungen für die Bewertungselemente und die Bewertungskriterien unterschiedlich sind. Dies kann auf die fortgeschrittene Phase im Produktlebenszyklus der CP3 im Vergleich zur CP4 zurückgeführt werden. Infolgedessen ist anzunehmen, dass mit Verlauf des Produktlebenszyklus die Gewichtungen anzupassen sind. Bei der Umsetzung der Bewertungssystematik als Tool wurde auf eine einfache Adaptierbarkeit des Tools und somit der Bewertungssystematik für CP geachtet, weswegen ein zielgerichteter Umgang mit Variantenvielfalt entsprechend der Phase im Produktlebenszyklus sichergestellt ist.

²⁷⁴ vgl. Kap. 4.3.2

Die Bewertungssystematik ist neben der objektivierten und aggregierten Bewertung (Anforderung 1.1), auch für weitere Zwecke geeignet.

Gemäß den Experten der CP3 ist die Bewertungssystematik auch für weitere Zwecke (z.B. Analysen zur Ausrichtung des Produktportfolios) potentiell geeignet.

Die Experten der CP3 befürworten eine detaillierte Analyse zur Implementierung der Bewertungssystematik in die Systemumgebung der CP3. Dies lässt auf die Akzeptanz der Bewertungssystematik für CP schließen (Anforderung 2.6).

Die Experten der CP3 stehen einer detaillierten Untersuchung der Implementierung in die Systemumgebung der CP3 positiv gegenüber. Zusammen deutet dies auf die Akzeptanz der Bewertungssystematik seitens der CP3-Experten stellvertretend für weitere CP hin.

7.3 Zielerreichung durch die Bewertungssystematik und das Tool SPRYness

Zur Beurteilung der Zielerreichung wurden die Anforderungen des Zielsystems der Bewertungssystematik²⁷⁵ überprüft, inwiefern diese durch die Systematik und das Tool SPRYness erfüllt werden. Die Anforderungen können mit quantitativen und qualitativen Forschungsmethoden überprüft werden (Blessing & Chakrabarti, 2009, S. 5). Das Vorgehen zur Beurteilung der Zielerreichung ist in Abbildung 7.3 dargestellt. Die Unterkapitel beinhalten die Beschreibungen der Aktivitäten der Analyse und der Synthese, die bei der Beurteilung vorgenommen wurden. Die Aktivitäten sind entsprechend in der Spalte Analyse oder in der Spalte Synthese aufgeführt. Für die Überprüfung mit Hilfe einer qualitativen Forschungsmethode wurde in den Systemumgebungen der CP3 und der CP4 eine Fragebogenstudie mit elf Themenblöcken (Anhang) implementiert. Der Fragebogen wurde beruhend auf ausgewählten Anforderungen des Zielsystems der Bewertungssystematik erstellt. Die elf Themenblöcke umfassen Fragen, die mit *Ziffer.Buchstabe* gekennzeichnet sind. *Ziffer* steht für die numerische Reihenfolge der Themenblöcke und *Buchstabe* für die alphabetische Reihenfolge der Fragen pro Themenblock. Zu den Analyseaktivitäten zählen die Auswertungen der Themenblöcke. Der erste Themenblock beinhaltet die Frage nach dem zugeordneten Fachbereich der Teilnehmer, das die Abfrage nach

²⁷⁵ vgl. Kap. 4.3.2

der unabhängigen Variable²⁷⁶ der Fragebogenstudie darstellt. Die abhängigen Variablen der Themenblöcke zwei bis zehn wurden mit Hilfe der Likert-Skala (Likert, 1932) und mit einem Freitextfeld abgefragt (Analyse) (Kapitel 7.3.1).

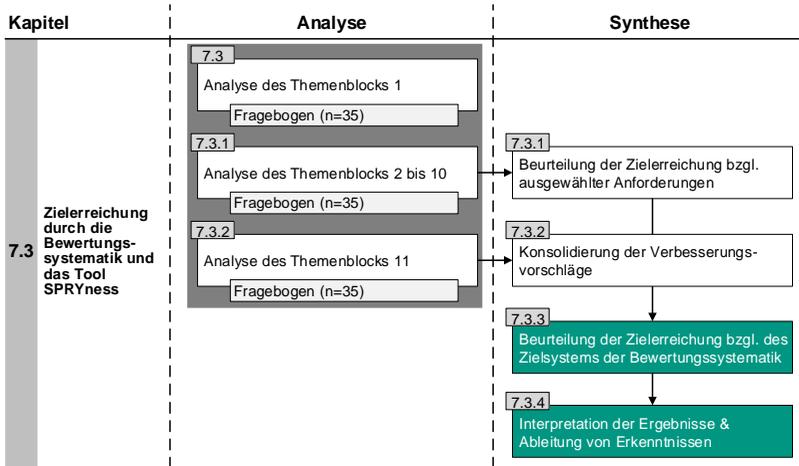


Abbildung 7.3: Vorgehen zur Beurteilung der Zielerreichung durch die Bewertungssystematik und das Tool SPRYness

Mit den Ergebnissen wurde die Zielerreichung bezüglich den ausgewählten Anforderungen des Zielsystems der Bewertungssystematik bestimmt (Synthese) (Kapitel 7.3.1). Mit Hilfe eines Freitextfeldes konnten die Teilnehmer die abhängige Variable des elften Themenblocks beantworten (Analyse) (Kapitel 7.3.2). Die Angaben dazu beinhalten Vorschläge zur Verbesserung der Bewertungssystematik (Synthese) (Kapitel 7.3.2). Die Zielerreichung bezüglich aller Anforderungen des Zielsystems der Bewertungssystematik erfolgte durch die Konsolidierung der Ergebnisse aus der

²⁷⁶ Erklärungen zur Abgrenzung von abhängigen und unabhängigen Variablen sowie zu den unterschiedlichen Skalenarten kann in weiterführender Literatur nachgelesen werden (z.B. Bortz und Döring (2006, S. 67))

Fragebogenstudie sowie der Ergebnisse aus den Untersuchungen zur Anwendbarkeit und der Übertragbarkeit mit Hilfe quantitativer Forschungsmethoden²⁷⁷ (Synthese). Diese Syntheseaktivität ist grün hervorgehoben, da in dem dazugehörigen Unterkapitel das Ergebnis der Phase der Arbeit²⁷⁸ *Validierung der Arbeit* beschrieben ist (Kapitel 7.3.3). Das Unterkapitel mit den Erkenntnissen ist ebenfalls grün hervorgehoben. Die Erkenntnisse resultieren aus der Interpretation der Ergebnisse aus der Beurteilung der Zielerreichung (Synthese) (Kapitel 7.3.4).

Im November 2018 haben in Summe 46 Experten verschiedener Fachbereiche und Hierarchieebenen den Fragebogen empfangen, die während den Phasen der Arbeit²⁷⁹ *Potentialfindung für die Bewertungssystematik*, *Konzeption der Bewertungssystematik* und *Umsetzung der Bewertungssystematik als Tool* involviert waren und/oder die potentielle Anwender des Tools SPRYness sind. Insgesamt haben n=35 Experten anonym teilgenommen (Teilnehmerquote: 76,1%). Die Auswertung des ersten Themenblocks ist in Abbildung 7.4 aufgezeigt.

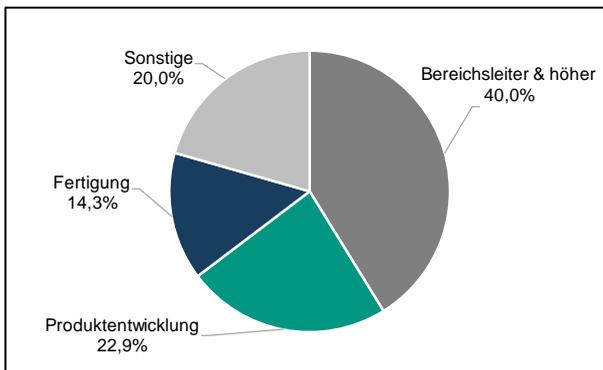


Abbildung 7.4: Teilnehmer der Fragebogenstudie (n=35)

Zur Unterscheidung der Hierarchieebenen haben die Teilnehmer angegeben, ob die Antwortoption *Bereichsleiter & höher* zutrifft (40,0%) (Frage 1.a). Sofern diese nicht

²⁷⁷ vgl. Kap. 7.1 und Kap. 7.2

²⁷⁸ vgl. Kap. 3.2

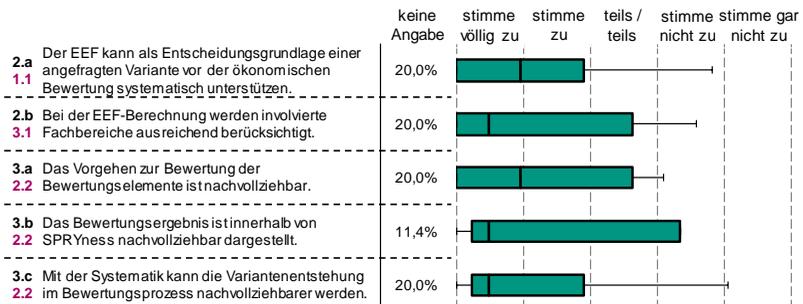
²⁷⁹ vgl. Kap. 3.2

zutrifft, hat jeder Teilnehmer den Fachbereich ausgewählt, zu welchem dieser zugeordnet ist (Frage 1.b). In Bezug auf die Fachbereiche sind die größten Anteile der Produktentwicklung (22,9%) und der Fertigung (14,3%) zuzuschreiben.

7.3.1 Zielerreichung bezüglich ausgewählter Anforderungen

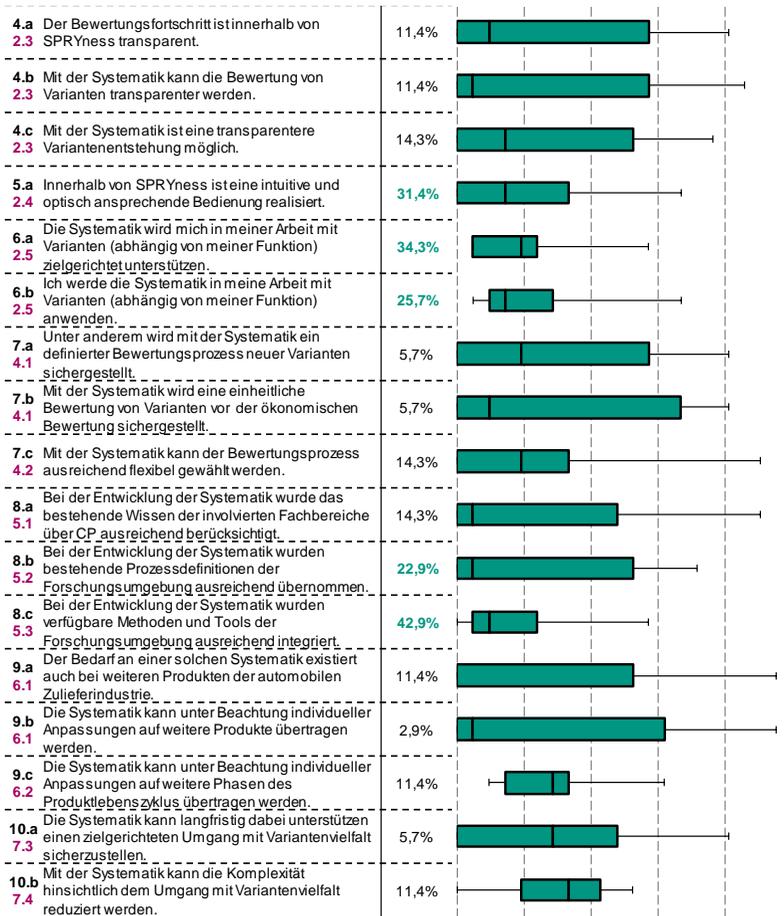
Die Themenblöcke zwei bis zehn (Anhang) wurden auf Basis ausgewählter Anforderungen des Zielsystems der Bewertungssystematik bestimmt. In Tabelle 40 sind die Verteilungen der Angaben durch die Teilnehmer auf die Antwortoptionen zu den Aussagen in Form von Box-Plots²⁸⁰ aufgelistet. Die Kennzeichnungen der Aussagen in der Fragebogenstudie sind um die Kennzeichnungen der adressierten Anforderungen²⁸¹ erweitert (Magenta). Beispielsweise ist die erste Aussage des zehnten Themenblocks mit 10.a gekennzeichnet. Diese Aussage unterstützt bei der Überprüfung der Anforderung 7.3. Die relativen Häufigkeiten zu den Antwortoptionen sind im Anhang zu finden. Für alle Aussagen liegt der Median entweder im Bereich der Antwortoption *stimme zu* oder im Bereich der Antwortoption *stimme völlig zu*. Folglich gelten die adressierten Anforderungen als erfüllt. Falls der prozentuale Wert für die Antwortoption *keine Angabe* größer als 20% ist, ist dieser Wert in grüner Schriftfarbe abgebildet und die mit der Aussage beurteilte Anforderung gilt als *teilweise* erfüllt. Dieser Grenzwert wurde nach Rücksprache mit Experte25 festgelegt.

Tabelle 40: Zielerreichung bezüglich ausgewählter Anforderungen (n=35)



²⁸⁰ Erklärung zur Berechnung der Variablen und zur Erstellung eines Box-Plots sei auf weiterführende Literatur verwiesen (vgl. Müller und Denecke (2013, S. 47–48))

²⁸¹ vgl. Kap. 4.3.2



Mögliche Gründe für hohe Werte für die Antwortoption *keine Angabe* waren unter anderem, dass das Tool SPRYness zum Zeitpunkt der Fragebogenstudie programmiert und die Bewertungssystematik somit noch nicht für angefragte Varianten angewendet wurde. Zum Beispiel haben mehr als 50% der Teilnehmer der Aussage zur intuitiven und optisch ansprechenden Bedienung des Tools SPRYness (Aussage 5.a) zugestimmt. Aufgrund des hohen Werts für die Antwortoption *keine Angabe* (31,4%) gilt die Anforderung 2.4 als *teilweise* erfüllt. Mit Hilfe eines Freitextfeldes (Aussage 9.d) konnten die Teilnehmer einschätzen, auf welche weitere

Produkte die Bewertungssystematik übertragbar ist. Von den in Summe 35 Teilnehmern haben 22 Teilnehmer Angaben gemacht (relative Beteiligung: 62,9%). Basierend auf den Angaben wurden vier Antwortoptionen abgeleitet und die differenzierten Angaben wurden einer oder mehreren Antwortoptionen zugeordnet. In Abbildung 7.5 ist die Verteilung der Angaben auf die Antwortoptionen veranschaulicht. Der größte Anteil der Teilnehmer (28,6%) erachtet, dass die Bewertungssystematik auf alle Produkte des Common-Rail Systems übertragbar ist. Unabhängig davon haben 17,1% speziell die Übertragbarkeit auf weitere CP angegeben. 14,3% der Teilnehmer nehmen an, dass die Bewertungssystematik auf alle Produkte (Hardware) – insbesondere Produkte der automobilen Zulieferindustrie – übertragbar ist. Weitere spezifisch genannte Produkte wurden in der Antwortoption *Sonstige* zusammengefasst (20,0%).

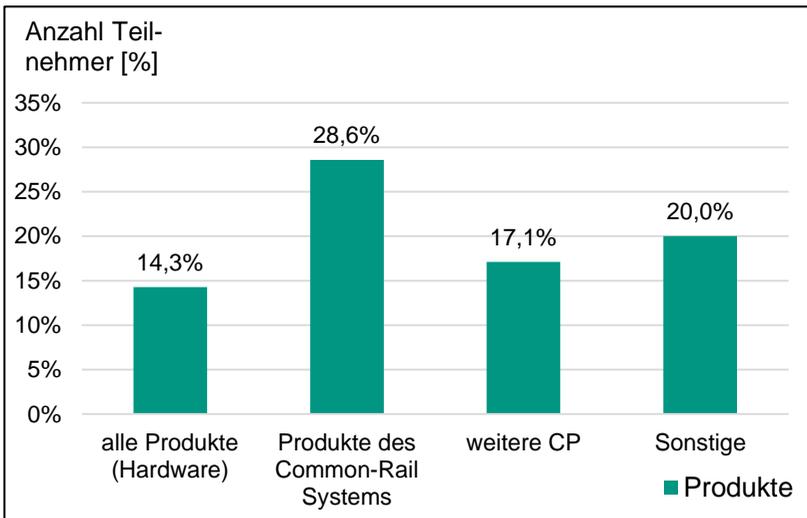


Abbildung 7.5: Übertragbarkeit der Bewertungssystematik auf weitere Produkte

7.3.2 Verbesserungsvorschläge aus der Fragebogenstudie

Die Teilnehmer konnten in das Freitextfeld des elften Themenblocks Bemerkungen und Vorschläge zur Weiterentwicklung der Bewertungssystematik und des Tools SPRYness schreiben (Anhang). Von den 35 Teilnehmern haben 26 Teilnehmer Angaben gemacht (relative Beteiligung: 74,3%). Auf Basis der Angaben wurden sechs Antwortoptionen abgeleitet. Die differenzierten Angaben der Teilnehmer wurden einer oder mehreren Antwortoptionen zugeordnet. Die Verteilung der Angaben auf die Antwortoptionen ist in Abbildung 7.6 dargestellt.

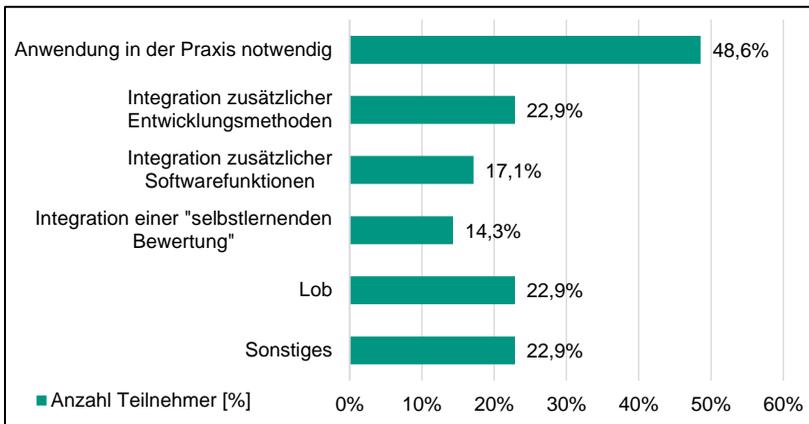


Abbildung 7.6: Bemerkungen und Vorschläge zur Weiterentwicklung der Bewertungssystematik

Der größte Anteil (48,6%) erachtet die Anwendung der Bewertungssystematik für aktuell angefragte Varianten als notwendig, um die Bewertungssystematik umfangreich zu evaluieren. Um das Tool SPRYness weiterzuentwickeln, schlugen 22,9% der Teilnehmer die Integration von zusätzlichen Entwicklungsmethoden (z.B. Kreativitätsmethoden zur Konzeptfindung, Methoden der Risikobewertung) und 17,1% der Teilnehmer die Integration von zusätzlichen Softwarefunktionen vor. Mit der Integration einer „selbstlernenden Bewertung“ (14,3%) ist die Realisierung einer intelligenten Software gemeint, mit der die Bewertung einer Variante automatisiert erfolgt. Sofern Angaben keiner Antwortoption zugeordnet werden konnten, sind die Anga-

ben in der Antwortoption *Sonstiges* (22,9%) zusammengefasst. Dazu zählt die Erweiterung des Tools SPRYness um vor- und nachgelagerte Aktivitäten (z.B. initiale Bewertung, ökonomische Bewertung) in der Angebotsphase. In der Antwortoption *Sonstiges* sind zudem kritische Bemerkungen hinsichtlich der Bewertungssystematik enthalten. Im Vergleich dazu haben 22,9% der Teilnehmer ein Lob hinsichtlich der Bewertungssystematik ausgesprochen, das für eine akzeptierte Bewertungssystematik spricht.

7.3.3 Zielerreichung durch die Bewertungssystematik und das Tool SPRYness

Zur Überprüfung, inwiefern das Ziel der Arbeit²⁸² durch die Bewertungssystematik und das Tool SPRYness erreicht ist, wurden die Ergebnisse aus der Phase der Arbeit²⁸³ *Validierung der Arbeit* konsolidiert (Tabelle 41). In der Tabelle sind die Anforderungen des Zielsystems der Bewertungssystematik²⁸⁴ aufgelistet.

Mit der Untersuchung der Anwendbarkeit der Bewertungssystematik für CP4-Varianten (Kapitel 7.1), mit der Untersuchung der Übertragbarkeit der Bewertungssystematik hinsichtlich einer möglichen Implementierung der Bewertungssystematik in die Systemumgebung der CP3 (Kapitel 7.2) und mit der Fragebogenstudie (Kapitel 7.3) wurden jeweils ausgewählte Anforderungen überprüft, inwiefern diese im Rahmen der jeweiligen Untersuchung als erfüllt gelten. Folgende Symbole kennzeichnen das Maß der Erfüllung: erfüllt $\triangleq \checkmark$, teilweise erfüllt $\triangleq (\checkmark)$, nicht erfüllt $\triangleq \times$. Mit dem Ergebnis aus der Gegenüberstellung (\boxplus) ist verdeutlicht, ob eine Anforderung für diese Arbeit als erfüllt gilt. Da die Ergebnisse, die in Kapitel 7.1 und in Kapitel 7.2 beschrieben sind, aus der Anwendung quantitativer Forschungsmethoden resultieren, bestimmen diese Ergebnisse – bei nicht einheitlichen Ergebnissen der einzelnen Untersuchungen – das Gesamtergebnis. Zur Überprüfung der Anforderungen 7.1 und 7.6 sind lange Untersuchungszeiträume notwendig, weswegen diese zum Zeitpunkt des Forschungsprojekts nicht-messbare Anforderungen²⁸⁵ darstellen.

²⁸² vgl. Kap. 3.1.1

²⁸³ vgl. Kap. 3.2

²⁸⁴ vgl. Kap. 4.3.2

²⁸⁵ vgl. Kap. 3.2.2: Unterscheidung messbare und nicht-messbare Anforderungen nach Blessing und Chakrabarti (2009, S. 26)

Tabelle 41: Zielerreichung bezüglich den Anforderungen des Zielsystems der Bewertungssystematik

		Kap. 7.1	Kap. 7.2	Kap. 7.3	∑
1.1	Objektivierte und aggregierte Bewertung vor der ökonomischen Bewertung realisieren		✓	✓	✓
2.1	Eine ausreichend genaue Bewertung bei einer schnellen Anwendung sicherstellen	(✓)			(✓)
2.2	Nachvollziehbarkeit der Bewertungsergebnisse erhöhen			✓	✓
2.3	Transparenz während der Bewertung erhöhen			✓	✓
2.4	Positives Anwendererlebnis bei der Anwendung der Bewertungssystematik als Tool realisieren			(✓)	(✓)
2.5	Anwendbarkeit der Bewertungssystematik sicherstellen	✓	✓	(✓)	✓
2.6	Akzeptanz der Bewertungssystematik sicherstellen	✓	✓	✓	✓
3.1	Anzahl involvierter Fachbereiche zielgerichtet für die Bewertung erhöhen			✓	✓
4.1	Einheitliche und definierte Bewertung realisieren			✓	✓
4.2	Möglichkeit zur definierten bedarfsgerechten Anpassbarkeit der Bewertung realisieren			✓	✓
5.1	Bestehendes Wissen über die CP während der Entwicklung der Bewertungssystematik berücksichtigen			✓	✓
5.2	Bestehendes Wissen über Prozesse während der Entwicklung der Bewertungssystematik berücksichtigen			(✓)	(✓)
5.3	Bestehendes Wissen über Methoden während der Entwicklung der Bewertungssystematik berücksichtigen			(✓)	(✓)
6.1	Übertragbarkeit der Bewertungssystematik auf weitere CP berücksichtigen		✓	✓	✓
6.2	Übertragbarkeit der Bewertungssystematik auf weitere Phasen des Produktlebenszyklus berücksichtigen		(✓)	✓	(✓)
7.1	Einhaltung der Meilensteine in der Angebotsphase erhöhen				✓
7.2	Dauer der Angebotsphase nicht erhöhen	✓			✓
7.3	Zielgerichteter Umgang mit Variantenvielfalt in der Angebotsphase realisieren		✓	✓	✓
7.4	Komplexität in der Angebotsphase reduzieren			✓	✓
7.5	Entscheidungen im Bewertungsprozess der Angebotsphase formalisieren	✓			✓
7.6	Wettbewerbsvorteil bei der Kundengewinnung in der Angebotsphase generieren				(✓)

Bei der Ermittlung des Gesamtergebnis für beide Anforderungen (grüne Schriftfarbe) wurden die Wechselwirkungen innerhalb des Zielsystems der Bewertungssystematik²⁸⁶ herangezogen. Das Gesamtergebnis der Anforderungen 7.1 und 7.6 entspricht jeweils dem Gesamtergebnis der beeinflussenden Anforderung, die am wenigsten erfüllt ist. Das Gesamtergebnis der Anforderung 7.1 entspricht dem Gesamtergebnis der Anforderung 7.3 und das Gesamtergebnis der Anforderung 7.6 entspricht der Anforderung 2.1.

Im Wesentlichen sind alle Anforderungen durch die Bewertungssystematik und das Tool SPRYness erfüllt. Zu den teilweise erfüllten Anforderungen zählen die Anforderungen 5.2 und 5.3. In der Fragebogenstudie wurden Verbesserungsvorschläge zur Weiterentwicklung der Bewertungssystematik hinsichtlich der Integration weiterer Entwicklungsmethoden sowie von vor- und nachgelagerten Aktivitäten in der Angebotsphase genannt. Ebenfalls wurde im Rahmen der Fragebogenstudie angemerkt, dass die Bewertungssystematik in der Praxis zur Beurteilung ausgewählter Anforderungen angewendet werden muss. Um beispielsweise die Zielerreichung für die Anforderungen 2.4, 6.2 und 7.6. zu beurteilen, ist eine längerfristige und spezifische Untersuchung über den Zeitraum des Forschungsprojekts hinaus notwendig. Die Beurteilung der Anforderung 2.1 beruht auf dem Vergleich der subjektiven Kategorisierungen für vier Varianten durch einen Experten mit den Kategorisierungen durch die Bewertungssystematik. Um eine fundierte Beurteilung der Anforderung 2.1 zu erhalten, bedarf es einem Vergleich der Kategorisierungen für weitere Varianten.

7.3.4 Erkenntnisse zur Beurteilung der Zielerreichung

Im Folgenden sind die Erkenntnisse aufgeführt und mit den Ergebnissen beschrieben, die aus der Beurteilung der Zielerreichung resultieren.

Die Anforderungen des Zielsystems der Bewertungssystematik sind im Wesentlichen erfüllt.

Aus der Beurteilung der Zielerreichung²⁸⁷ geht hervor, dass die Anforderungen des Zielsystems der Bewertungssystematik durch die Bewertungssystematik und das

²⁸⁶ vgl. Kap. 4.3.4

²⁸⁷ vgl. Kap. 7.3.3

Tool SPRYness im Wesentlichen erfüllt sind. Einzelne Anforderungen gelten als teilweise erfüllt. In diesem Zusammenhang wurden mögliche Gründe und Verbesserungsvorschläge beschrieben.

Mit der Beurteilung der Zielerreichung wurde Forschungsbedarf für weitere Forschungsaktivitäten identifiziert.

Die Beurteilung der Zielerreichung erfolgte in der Phase der Arbeit *Validierung der Arbeit*, die der Phase der DRM *Deskriptive Studie II* nach Blessing und Chakrabarti (2009) inhaltlich entspricht.²⁸⁸ In den Untersuchungen der Phase wurden Vorschläge zur Verbesserung der Bewertungssystematik bestimmt, wodurch der Bedarf an weiteren Forschungsaktivitäten aufgezeigt ist. Dies verdeutlicht, dass die Phase eine *initiale* Deskriptive Studie II ist.

Die Übertragbarkeit der Bewertungssystematik ist für CP gezeigt und kann für weitere Produkte angenommen werden.

Mit der Identifikation des Bedarfs an der Bewertungssystematik²⁸⁹ und der Untersuchung der Übertragbarkeit der Bewertungssystematik²⁹⁰ wurde gezeigt, dass in der Systemumgebung der CP3 der Bedarf an der Bewertungssystematik existiert und die Bewertungssystematik implementiert werden kann. Aus der Fragebogenstudie zur Beurteilung der Zielerreichung²⁹¹ resultiert, dass die Bewertungssystematik ebenfalls für weitere Produkte – insbesondere in der automobilen Zulieferindustrie – anwendbar ist. Folglich ist die Bewertungssystematik – aufgrund der Kennzeichen der automobilen Zulieferindustrie²⁹² – bei Anbietern von CP der automobilen Zulieferindustrie mit adäquaten Randbedingungen anwendbar.

²⁸⁸ vgl. Kap. 3.2.2

²⁸⁹ vgl. Kap. 4.3.3

²⁹⁰ vgl. Kap. 7.2

²⁹¹ vgl. Kap. 7.3.3

²⁹² vgl. Kap. 2.2.1

7.4 Fazit zum Mehrwert durch die Bewertungssystematik und das Tool SPRYness

Das Kapitel 7 umfasst die Ergebnisse der Phase der Arbeit²⁹³ *Validierung der Arbeit*. In der Phase wurden Studien durchgeführt, um zu überprüfen, inwiefern die Anforderungen des Zielsystems der Bewertungssystematik²⁹⁴ durch die Bewertungssystematik und das Tool SPRYness erfüllt sind. Zu den Studien zählen die Untersuchung der Anwendbarkeit und der Übertragbarkeit der Bewertungssystematik sowie die Beurteilung der Zielerreichung bezüglich der Anforderungen mit Hilfe einer Fragebogenstudie.

Zur Untersuchung der Anwendbarkeit der Bewertungssystematik²⁹⁵ wurden vier Fallstudien durchgeführt, in denen die Bewertungssystematik mit Hilfe des Funktionsdemonstrators²⁹⁶ für vier ausgewählte Varianten der CP4 angewendet wurde. Die vier Varianten wurden mit einem Experten bestimmt. Experten (n=11), die zum Zeitpunkt der Variantenanfrage jeweils für die Bewertung eines Bewertungselements einer der CP4-Varianten verantwortlich gewesen wären, haben das zugeordnete Bewertungselement bewertet. Ein weiterer Experte und zwei Führungskräfte haben bei der Auswertung unterstützt. Untersucht wurden die Genauigkeit des Bewertungsalgorithmus und die Dauer zur Bewertung der Bewertungselemente. Zudem haben die Experten während der Untersuchung Vorschläge zur Verbesserung der Bewertungssystematik genannt. Insbesondere resultiert aus der Untersuchung, dass die Bewertung mit der Bewertungssystematik im Wesentlichen ein genaues Bewertungsergebnis hervorbringt und dass die Dauer der Angebotsphase durch die Anwendung der Bewertungssystematik im Mittel nicht erhöht wird. Die Experten empfehlen eine detaillierte Analyse, in der weitere, bereits in der Serienfertigung implementierte Varianten untersucht werden. Durch eine Anwendung mit aktuell angefragten Varianten kann das Untersuchungsergebnis gesichert werden. Die Beurteilung der Dauer zur Bewertung der Bewertungselemente erfolgte unter Annahmen und durch Abschätzungen. In weiteren Forschungsaktivitäten ist zu überprüfen, ob exakte Messverfahren einen praxistauglichen Mehrwert bei der Beurteilung der Dauer liefern. Als ein Vorschlag zur Weiterentwicklung der Bewertungssystematik wurde die Erweiterung der Bewertungssystematik um beispielsweise weitere Bewertungselemente genannt. Die Umsetzung der Vorschläge ist in nachfolgenden Forschungsarbeiten zu evaluieren. Zur Überprüfung der identifizierten Erkenntnisse

²⁹³ vgl. Kap. 3.2

²⁹⁴ vgl. Kap. 4.3.2

²⁹⁵ vgl. Kap. 7.1

²⁹⁶ vgl. Kap. 6.2

ist die Anwendbarkeit der Bewertungssystematik für die vier Varianten mit weiteren Experten und für weitere Varianten mit entsprechenden Experten zu überprüfen.

Bei der Untersuchung der Übertragbarkeit der Bewertungssystematik²⁹⁷ waren Experten (n=6) der CP3 involviert, um eine potentielle Implementierung der Bewertungssystematik in die Systemumgebung der CP3 zu überprüfen. Die Experten beurteilten, inwiefern die Bewertungskriterien der Bewertungssystematik für die Systemumgebung der CP3 anwendbar sind. Darüber hinaus haben die Experten Gewichtungen für die Anwendung des Bewertungsalgorithmus erarbeitet. Während der Untersuchung haben die Experten Vorschläge genannt, wie die Bewertungssystematik verbessert werden kann. Aus der Untersuchung geht vor allem hervor, dass die Bewertungssystematik auf die Systemumgebung der CP3 übertragbar ist. Die Experten befürworten zusätzliche Untersuchungen, sofern die Bewertungssystematik in der Systemumgebung der CP3 umgesetzt werden soll. Dafür sind weitere CP3-Experten zu involvieren, um die Möglichkeiten zur Adaption der Bewertungssystematik zu diskutieren und die ermittelten Gewichtungen abzusichern. Die bei der Untersuchung involvierten Experten haben in den Interviews erstmalig von der Bewertungssystematik erfahren. Demnach kann ein weniger detailliertes Verständnis der Experten über die Bewertungssystematik angenommen werden. Die Ergebnisse der Untersuchung können in Systemumgebungen weiterer CP, bei einem intensiveren Verständnisaufbau der involvierten Experten oder durch Unterstützung weiterer Experten abweichen.

Zur Beurteilung der Zielerreichung²⁹⁸ wurden die Anforderungen des Zielsystems der Bewertungssystematik überprüft, inwiefern diese durch die Bewertungssystematik und das Tool SPRYness erfüllt sind. Für die Untersuchung ausgewählter Anforderungen wurde ein Fragebogen (n=35) implementiert, mit dem die Teilnehmer verschiedene Themenblöcke beantwortet haben. Ein großer Anteil der Teilnehmer waren Bereichsleiter oder höher. Zusammen mit der hohen Teilnehmerquote (76,1%) lässt dies auf großes Interesse an der Bewertungssystematik schließen. Ein optionaler Themenblock diente der Identifikation von Vorschlägen zur Verbesserung der Bewertungssystematik. Die hohe relative Beteiligung (74,3%) bei dem Themenblock bekräftigt das Interesse an der Bewertungssystematik. Die Ergebnisse aus der Untersuchung der Anwendbarkeit und der Übertragbarkeit sowie aus der Fragebogenstudie wurden gegenübergestellt, um das Maß der Zielerreichung für alle Anforderungen des Zielsystems der Bewertungssystematik zu bestimmen.

²⁹⁷ vgl. Kap. 7.2

²⁹⁸ vgl. Kap. 7.3

Die Anforderungen gelten im Wesentlichen als erfüllt. Da die in der Arbeit zu fokussierenden Anforderungen²⁹⁹ erfüllt sind, ist somit auch das Ziel der Arbeit³⁰⁰ erfüllt. Darüber hinaus erachten die Experten die Anwendung der Bewertungssystematik auch in Systemumgebungen weiterer Produkte als möglich. Für die vereinzelt, teilweise erfüllten Anforderungen wurden mögliche Gründe und Verbesserungsvorschläge erörtert. Um die Ergebnisse der Beurteilung zu konkretisieren, sind zusätzliche Experten – zum Beispiel mit Hilfe von teilstandardisierten Interviews – zu integrieren. Dabei sei darauf hingewiesen, dass eine Anonymität der Experten in teilstandardisierten Interviews – im Vergleich zur Fragebogenstudie – nicht gewährleistet ist und somit kritische Bewertungen untergehen können.

²⁹⁹ vgl. Kap. 4.3.4

³⁰⁰ vgl. Kap. 3.1.1

8 Zusammenfassung und Ausblick

Im Folgenden sind die Ergebnisse des Forschungsprojekts zusammengefasst (Kapitel 8.1). Mit dem Ausblick sind mögliche weiterführende und mit dem Forschungsprojekt in Zusammenhang stehende Forschungsarbeiten beschrieben (Kapitel 8.2).

8.1 Zusammenfassung

In dem Forschungsprojekt wurde die Systematik zur Bewertung von Varianten in der Angebotsphase von Common-Rail Pumpen der automobilen Zulieferindustrie entwickelt. In der Literatur und bei einem automobilen Zulieferer wurde der Bedarf im Umgang mit Variantenvielfalt untersucht. Beruhend auf dem Bedarf wurden Anforderungen als Elemente des Zielsystems der Bewertungssystematik zur Entwicklung der Bewertungssystematik abgeleitet. Mit der Bewertungssystematik können die Auswirkungen – insbesondere einer noch nicht in der Serienfertigung implementierten Variante – auf die betroffenen Elemente des Referenzsystems der Variante (z.B. Fertigungsanlagen, Prüfeinrichtungen) systematisch bewertet und das Potential der Variante für den automobilen Zulieferer objektiviert werden. Die Bewertungssystematik umfasst den Bewertungsprozess als Teil des SOLL-Prozesses der Angebotsphase und die Methode zur Bewertung der betroffenen Elemente des Referenzsystems von Varianten. Diese zu bewertenden Elemente werden in dieser Arbeit als Bewertungselemente verstanden. Die Bewertung und die Objektivierung dienen für das Management des automobilen Zulieferers als Entscheidungsgrundlage, ob die angefragte Variante dem Automobilhersteller angeboten werden soll. Mit Hilfe der Bewertungssystematik wurden die Wechselwirkungen innerhalb des Zielsystems von Varianten in der Angebotsphase untersucht. Darauf aufbauend wurden Schlüsselfaktoren identifiziert, die für die Entscheidung zur Einführung einer Variante maßgebend sind. Die Bewertungssystematik wurde als das Tool SPRYness umgesetzt, um die Entwicklerteams in der Angebotsphase von Varianten zu unterstützen.

Das Forschungsprojekt unterliegt einer teilweise iterativen Vorgehensweise. Auf Basis von ASD – Agile Systems Design wurden auf verschiedenen Prozessebenen die Phasen, die Aktivitäten und die Methoden des Forschungsprojekts geplant und durchgeführt. Zur Strukturierung der Arbeit wurden die sechs Phasen des Metaprozesses des ASD auf die Arbeit adaptiert: Literaturrecherche, Potentialfindung für die Bewertungssystematik, Konzeption der Bewertungssystematik, Umsetzung der Bewertungssystematik als Tool, Validierung der Arbeit, Identifikation weiterführender

Forschung.³⁰¹ Die zusammengefassten Ergebnisse der ersten fünf Phasen sind im Folgenden beschrieben. Die sechste Phase *Identifikation weiterführender Forschung* ist in Kapitel 8.2 erläutert.

Mit der Phase der Arbeit *Literaturrecherche* (Kapitel 2) wurde der aus der Literatur resultierende Forschungsbedarf aufgezeigt. Basierend darauf wurden das Ziel der Arbeit, das initiale Zielsystem der Bewertungssystematik, die Forschungshypothesen und die Forschungsfragen abgeleitet (Kapitel 3). Zum einen wurde das Modell der PGE – Produktgenerationsentwicklung und ASD – Agile Systems Design als Modelle der Produktentstehung beschrieben. Diese beiden Modelle stellen die Grundlage der Arbeit dar. Zum anderen wurden die Ursachen und die Auswirkungen von Variantenvielfalt in der Produktentstehung sowie die Bedeutung der Variantenvielfalt insbesondere für die automobiler Zulieferindustrie erläutert. Speziell für die frühe Phase der Produktentwicklung wurden Methoden sowohl zur Bewertung des technologischen und strategischen Potentials von Varianten, als auch zur Risikobewertung eines Produkts und zur Bewertung von Produktalternativen in der Literatur identifiziert. Aus der Phase *Literaturrecherche* geht hervor, dass es keine Methode gibt, mit der die Konsistenz des Zielsystems einer Variante hinsichtlich den betroffenen Elementen des Referenzsystems der Variante in der Angebotsphase bewertet werden kann. Zudem existiert in der Literatur keine gemeinsame Beschreibung des Wissensflusses zwischen den Entwicklerteams und den Verantwortlichkeiten der Entwicklerteams für die Aktivitäten und die Methoden zur Bewertung von Varianten in der Angebotsphase. Zudem wurde festgestellt, dass Forschungsbedarf hinsichtlich der Zusammenhänge zwischen den Elementen des Referenzsystems einer neuen Produktgeneration und deren Einfluss auf die Entwicklung der Produktgeneration besteht.

In der Phase der Arbeit *Potentialfindung für die Bewertungssystematik* (Kapitel 4) wurde bei dem automobilen Zulieferer für CP der Bedarf im Umgang mit Variantenvielfalt bestimmt, um den Forschungsbedarf aus der Literatur zu spezifizieren. Unter anderem wurde eine Fragebogenstudie (n=363) implementiert, um die Ursachen, die Auswirkungen und Vorschläge im Umgang mit Variantenvielfalt zu identifizieren. Das initiale Zielsystem der Bewertungssystematik wurde zu dem Zielsystem der Bewertungssystematik weiterentwickelt. Beruhend auf den ASD-Prinzipien wurden die Ziele, die Anforderungen und die Randbedingungen zur Entwicklung der Bewertungssystematik konkretisiert. Zu den Randbedingungen zählt die Berücksichtigung der Forschungsumgebung bei dem automobilen Zulieferer mit den Pumpengenerationen CP3 und CP4. Ein wesentliches Ziel ist die Entwicklung einer Bewertungs-

³⁰¹ vgl. Kap. 3.2

systematik, die vor der ökonomischen Bewertung in der Angebotsphase Anwendung findet. Dabei sollen beispielsweise die Anforderungen hinsichtlich einer objektiven, aggregierten, genauen und nachvollziehbaren Bewertung von Varianten unter Berücksichtigung einer zielgerichteten Einbindung der Entwicklerteams erfüllt werden. Mit der Untersuchung der Wechselwirkungen innerhalb des Zielsystems der Bewertungssystematik wurden die Anforderungen identifiziert, die in den weiteren Phasen der Arbeit zu fokussieren sind.

Die Phase der Arbeit *Konzeption der Bewertungssystematik* (Kapitel 5) diente der Entwicklung der Bewertungssystematik auf Basis der Anforderungen des Zielsystems der Bewertungssystematik. Zur Entwicklung des Bewertungsprozesses wurde das Produktprofil von Varianten untersucht und darauf aufbauend wurden die Bewertungselemente definiert. Es gibt Bewertungselemente, die für alle noch nicht in der Serienfertigung implementierten Varianten zu bewerten sind. Durch diese ist das definierte Maß an Struktur im Bewertungsprozess sichergestellt. Abhängig von den betroffenen Elementen des Referenzsystems kann der Bewertungsprozess an definierten Meilensteinen variantenindividuell um weitere Bewertungselemente erweitert werden. Dadurch ist das Maß an Flexibilität in strukturierter Art realisiert. Mit dem modellierten Bewertungsprozess sind der Wissensfluss zwischen den Entwicklerteams und die Aktivitäten der Entwicklerteams mit der anzuwendenden Methode zur Bewertung verdeutlicht. Zur Strukturierung der Methode zur Bewertung wurde eine Bewertungshierarchie aufgestellt, in der die Bewertungselemente mit den dazugehörigen Bewertungskriterien abgebildet sind. Bewertungsbögen für die Bewertungselemente wurden erarbeitet, mit denen die Entwicklerteams die Bewertungen der Bewertungselemente mit Hilfe der Bewertungskriterien vornehmen können. Zur Aggregation der Bewertungen wurde der Bewertungsalgorithmus entwickelt, mit dem die Bewertungen in Form des Effect Estimation Factors (EEF) objektiviert werden. Der EEF verdeutlicht das Potential einer Variante zur Einführung in das Produktportfolio. Neben den Bewertungen der Bewertungselemente fließen auch erarbeitete Gewichtungen in den Bewertungsalgorithmus ein. Mit den Bewertungskriterien wurden die Wechselwirkungen innerhalb des Zielsystems von Varianten in der Angebotsphase modelliert, indem der Einfluss zwischen den Bewertungskriterien bestimmt wurde. Aus einer direkten und einer indirekten Einflussanalyse gehen die Schlüsselfaktoren für die Entscheidung über die Einführung von Varianten hervor.

In der Phase der Arbeit *Umsetzung der Bewertungssystematik als Tool* (Kapitel 6) wurde das Tool SPRYness auf Basis der Anforderungen des Zielsystems der Bewertungssystematik programmiert. Bei der Umsetzung haben das Produktprofil, der Funktions- und der Designdemonstrator des Tools SPRYness unterstützt. Diese können zur Implementierung des Tools in die Systemumgebungen weiterer CP der

automobilien Zulieferindustrie herangezogen werden. Mit dem Produktprofil des Tools SPRYness ist ein Überblick über das Tool geschaffen, indem die Namensgebung erläutert ist sowie der Kunden-, der Anwender- und der Anbieternutzen beschrieben sind. Die Anforderungen an das Tool SPRYness wurden identifiziert, die während der Implementierung des Tools kontinuierlich zu validieren sind. Der Funktionsdemonstrator und der Designdemonstrator sind Elemente des Referenzsystems des Tools SPRYness. Der Funktionsdemonstrator wurde hauptsächlich zur Simulation des Bewertungsalgorithmus entwickelt. Mit dem Designdemonstrator werden die Bedienoberflächen interaktiv verdeutlicht. Durch eine hohe ÜV der Demonstratoren wird der Aufwand zur Implementierung des Tools in die Systemumgebungen weiterer CP gering gehalten.

Mit der Phase der Arbeit *Validierung der Arbeit* (Kapitel 7) wurde beurteilt, inwiefern die Anforderungen des Zielsystems der Bewertungssystematik und somit das Ziel der Arbeit durch die Bewertungssystematik und das Tool SPRYness erfüllt sind. Die Anwendbarkeit der Bewertungssystematik wurde für ausgewählte Varianten der CP4 gezeigt. Stellvertretend für weitere CP wurde die Übertragbarkeit der Bewertungssystematik für eine mögliche Implementierung in die Systemumgebung der CP3 untersucht. Beide Untersuchungen basierten auf quantitativen Forschungsmethoden, wodurch die Zielerreichung bezüglich ausgewählter Anforderungen des Zielsystems der Bewertungssystematik beurteilt wurde. Beispielsweise geht aus den Untersuchungen hervor, dass die Bewertungssystematik anwendbar und übertragbar ist sowie dass die Bewertungssystematik im Wesentlichen ein genaues Bewertungsergebnis liefert und die Dauer der Angebotsphase durch die Anwendung der Bewertungssystematik im Mittel nicht erhöht wird. Zusätzlich wurden mit einer Fragebogenstudie (n=35) als eine qualitative Forschungsmethode das Maß der Zielerreichung ausgewählter Anforderungen beurteilt. Unter anderem resultiert aus der Fragebogenstudie, dass durch die Bewertungssystematik die Bewertung in der Angebotsphase transparenter und ein systematischer Umgang mit Variantenvielfalt in der Angebotsphase unterstützt wird. Die in der Arbeit zu fokussierenden Anforderungen, die in der Phase der Arbeit *Potentialfindung der Arbeit* identifiziert wurden, gelten als erfüllt.³⁰² Folglich gilt das Ziel der Arbeit³⁰³ als erfüllt.

³⁰² vgl. Kap. 7.3.3

³⁰³ vgl. Kap. 3.1.1

8.2 Ausblick

In der Phase der Arbeit³⁰⁴ *Identifikation weiterführender Forschung* wurden weiterführende Forschungsarbeiten bestimmt, die Forschungspotential über dieses Forschungsprojekt hinaus aufweisen. Im Wesentlichen gehen aus der Phase der Arbeit *Validierung der Arbeit* Vorschläge zur Verbesserung der Bewertungssystematik hervor. Die zusammengefassten Vorschläge und an das Forschungsprojekt angrenzende Forschungsarbeiten sind im Folgenden den drei wesentlichen Forschungsbereichen der Arbeit³⁰⁵ zugeordnet.

Für den Forschungsbereich der Arbeit *Variantenvielfalt in der automobilen Zulieferindustrie* sollte untersucht werden, inwiefern die Bewertungssystematik in Systemumgebungen weiterer CP, weiterer Produkte der automobilen Zulieferindustrie und weiterer Produkte anderer Industriezweige anwendbar ist. Ebenfalls bieten sich Systemumgebungen mit einem anderen Zielsystem der Bewertungssystematik inklusive abweichender Entwicklungsziele, Anforderungen und Randbedingungen an. Darauf aufbauend sind die resultierenden Ergebnisse und die Ergebnissen der Arbeit gegenüberzustellen, um gegebenenfalls Einschränkungen bei der Anwendung der Bewertungssystematik und Möglichkeiten zur Adaption der Bewertungssystematik zu analysieren. Mit Hinblick auf die zunehmende Elektrifizierung des Antriebsstrangs und die anhaltende Produktindividualisierung sind insbesondere die Anwendbarkeit der Bewertungssystematik in Systemumgebungen von Produkten der konventionellen Fahrzeugmärkte mit den Märkten für alternative Antriebstechnologien zu vergleichen. Zu untersuchen ist, inwiefern die Bewertungssystematik in der Sättigungs- und der Degenerationsphase von Produkten der konventionellen Fahrzeugmärkte einen Beitrag leisten kann. Um die Auswirkungen und das Potential von unvorsehbaren Varianten zu bestimmen, sollte die Implementierung der Bewertungssystematik in Systemumgebungen von Produkten der Märkte für alternative Antriebstechnologien proaktiv angestrebt werden. Weitere Untersuchungen sind dafür notwendig. Darüber hinaus ist zu prüfen, wie das Anwendererlebnis bei der Anwendung des Tools SPRYness durch zusätzliche Softwarefunktionen gesteigert werden kann. Die Integration des Tools SPRYness in die Toolumgebung mit vor- und nachgelagerten Aktivitäten sowie die Verknüpfung mit den jeweiligen Entwicklungsmethoden der Produktentwicklung stellen dabei eine elementare Aufgabe dar. In diesem Zusammenhang werden Forschungsarbeiten empfohlen, deren Fokus auf der Entwicklung von selbstlernenden Entwick-

³⁰⁴ vgl. Kap. 3.2

³⁰⁵ vgl. Kap. 1.2

lungsmethoden in virtuellen Systemumgebungen liegt. Durch einen gezielten Aufbau einer geeigneten virtuellen Validierungsumgebung können zudem Potentiale zur frühzeitigen und kontinuierlichen Validierung von Produktanforderungen erschlossen werden.

Für den Forschungsbereich der Arbeit *Die Frühe Phase der PGE – Produktgenerationsentwicklung* sollten weiterhin die Aktivitäten und die Entwicklungsmethoden in der frühen Phase spezifiziert werden. Aufgrund der geringen Formalisierung in der frühen Phase besteht weiterführendes Forschungspotential zur Definition des Wissensflusses zwischen den Entwicklerteams und der Verantwortlichkeiten zwischen den Entwicklerteams im Entwicklungsprozess. Entwicklungsmethoden der PGE – Produktgenerationsentwicklung zur Standardisierung und zur Reduktion von Varianten sowie zur Bewertung von Entwicklungsrisiken und -chancen sind weiterzuentwickeln, um die Unsicherheiten in der frühen Phase zu reduzieren und um die Auswirkungen auf den Entwicklungsprozess frühzeitig zu erkennen. Zur frühzeitigen Erkennung sollten Methoden der strategischen Vorausschau stärker in die Produktentwicklung mit einbezogen werden, die das Referenzsystem einer generationsübergreifenden PGE – Produktgenerationsentwicklung berücksichtigen (Albers, Dumitrescu et al., 2018). In diesem Zusammenhang sollte untersucht werden, wie das Zielsystem einer Produktgeneration in der Frühen Phase generationsübergreifend und unter Berücksichtigung der Elemente des Referenzsystems entwickelt und modelliert werden kann. Durch die Modellierung der Abhängigkeiten sollten Möglichkeiten zur effizienten Steuerung von Entwicklungsprozessen bestimmt werden.

Aus dem Forschungsbereich der Arbeit *Modelle in der Produktentstehung* diene vor allem das Modell der PGE – Produktgenerationsentwicklung als Grundlage zur Entwicklung der Bewertungssystematik. Vielfältige Forschungsarbeiten können durchgeführt werden, um auf Basis des Modells Methoden und Prozesse der Produktentwicklung weiterzuentwickeln. Es sollte in zukünftigen Forschungsarbeiten untersucht werden, wie die Entwicklung des Referenzsystems der PGE – Produktgenerationsentwicklung und die Modellierung der Wechselwirkungen zwischen den Elementen des Referenzsystems gestaltet werden kann (Albers, Rapp, Spadinger, Richter, Birk, Marthaler, Heimicke, Kurtz & Wessels, 2019b). Eine Anpassung des Zielsystems einer Produktgeneration kann die Anpassung der Elemente des Referenzsystems zur Folge haben. Das Ziel sollte sein, die mit der Anpassung verbundenen Variationen und die damit einhergehenden Aktivitäten der Produktentstehung zu bestimmen. (Albers, Rapp, Peglow et al., 2019). Mit ASD – Agile Systems Design ist ein Ansatz zur bedarfsgerechten Berücksichtigung von unvorhergesehenen Iterationen in der PGE – Produktgenerationsentwicklung gegeben. Um den Unsicherheiten und den kürzer werdenden Entwicklungszeiten gerecht zu werden, sollte dieser Ansatz weiter ausgebaut werden. Eine Möglichkeit dafür ist die Modellierung von

Referenzprozessen mit Prozessmustern, die bei der Planung des SOLL-Prozesses eines Projekts situationsspezifisch hinzugefügt werden können (Wilmsen et al., 2019).

Literaturverzeichnis

- Abele, E., Radtke, P. & Bitzer, A. (2013). Kapitel 10: Automobilindustrie im Wandel - Wertschöpfungsarchitekturen der Zukunft. In G. Reinhart & M. F. Zäh (Hg.), *Marktchance Individualisierung* (1. Aufl., S. 109–118). Springer-Verlag, Berlin.
- Ahmed, S., Wallace, K. M. & Blessing, L. T. M. (2003). Understanding the differences between how novice and experienced designers approach design tasks. *Research in Engineering Design*, 14(1), S. 1–11.
- Albar, F. M. & Jetter, A. (2011). An investigation on fast and frugal model for new project screening. In PICMET (Hg.), *Proceedings of Technology Management in the Energy Smart World (PICMET) 2011. Konferenz, Portland, Oregon, USA* (S. 735–746).
- Albers, A. (1994). Simultaneous Engineering, Projektmanagement und Konstruktionsmethodik - Werkzeuge zur Effizienzsteigerung. In VDI (Hg.), *VDI-Berichte: Bd. 1120. Entwicklung und Konstruktion im Strukturwandel: Deutscher Konstrukteurtag* (S. 73–106). VDI-Verlag, Düsseldorf.
- Albers, A. (2010). Five hypotheses about engineering processes and their consequences. In I. Horváth, F. Mandorli & Z. Rusák (Hg.), *Proceedings of International Symposium on Tools and Methods of Competitive Engineering (TMCE) 2010. Symposium, Ancona, Italien* (S. 343–356).
- Albers, A., Behrendt, M., Klingler, S. & Matros, K. (2016). Kapitel 6: Verifikation und Validierung im Produktentstehungsprozess. In U. Lindemann (Hg.), *Handbuch Produktentwicklung* (S. 541–569). Carl Hanser Verlag, München.
- Albers, A., Behrendt, M., Klingler, S., Reiß, N. & Bursac, N. (2017). Agile product engineering through continuous validation in PGE – Product Generation Engineering. *Design Science*, 3(5), S. 1–19.
- Albers, A., Behrendt, M., Schroeter, J., Ott, S. & Klingler, S. (2013). X-in-the-Loop: A framework for supporting central engineering activities and contracting complexity in product engineering processes. In U. Lindemann, S. Venkataraman,

- Y. Kim, S. W. Lee, J. Clarkson & G. Cascini (Hg.), *Proceedings of the 19th International Conference on Engineering Design (ICED) 2013. Konferenz, Seoul, Korea* (S. 391–400).
- Albers, A. & Braun, A. (2011). A generalised framework to compass and to support complex product engineering processes. *International Journal of Product Development, Special Issue on Considerations of Design Process Features for Methodological Enhancements of Product Design*, 15(1/2/3), S. 6–25.
- Albers, A., Burkhardt, N., Meboldt, M. & Saak, M. (2005). SPALTEN problem solving methodology in the product development. In A. E. Samuel & W. Lewis (Hg.), *Proceedings of the 15th International Conference on Engineering Design (ICED) 2005: Engineering design and the global economy. Konferenz, Melbourne, Australien* (S. 553–554).
- Albers, A., Bursac, N., Eckert, C. M., Walter, B., Wilmsen, M. & Heimicke, J. (2018). Agile method development: A Live-Lab case study on product properties for process planning. In D. Marjanović, M. Štorga, S. Škec, N. Bojčetić & N. Pavković (Hg.), *Proceedings of the 15th International Design Conference (DESIGN) 2018. Konferenz, Dubrovnik, Kroatien* (S. 713–724).
- Albers, A., Bursac, N. & Rapp, S. (2016). PGE - Product Generation Engineering - Case study of the dual mass flywheel. In D. Marjanović, M. Štorga, N. Pavković, N. Bojčetić & S. Škec (Hg.), *Proceedings of the 14th International Design Conference (DESIGN) 2016: Processes, Management & Systems Engineering. Konferenz, Zagreb, Kroatien* (S. 791–800).
- Albers, A., Bursac, N. & Rapp, S. (2017). PGE – Produktgenerationsentwicklung am Beispiel des Zweimassenschwungrads. *Forschung im Ingenieurwesen*, 81(1), S. 13–31.
- Albers, A., Bursac, N., Urbanec, J., Lüdcke, R. & Rachenkova, G. (2014). Knowledge management in product generation development - An empirical study. In D. Krause, K. Paetzhold & S. Wartzack (Hg.), *Proceedings of the 24th Symposium Design for X (DfX) 2014. Symposium, Bamberg* (S. 13–24).
- Albers, A., Bursac, N. & Wintergerst, E. (2015). Produktgenerationsentwicklung - Bedeutung und Herausforderungen aus einer entwicklungsmethodischen Perspektive. In H. Binz, B. Bertsche, W. Bauer & D. Roth (Hg.), *Stuttgarter Symposium für Produktentwicklung (SSP) 2015. Symposium, Stuttgart* (o.S.).

- Albers, A., Dumitrescu, R., Marthaler, F., Albers, A. A., Kühfuss, D., Strauch, M., Siebe, A. & Bursac, N. (2018). PGE - Produktgenerationsentwicklung und Zukunftsvorausschau: Eine systematische Betrachtung zur Ermittlung der Zusammenhänge. In J. Gausemeier, W. Bauer & R. Dumitrescu (Hg.), *Proceedings of the 14th Symposium für Vorausschau und Technologieplanung (SVT) 2018. Symposium, Berlin* (Bd. 385, o.S.).
- Albers, A., Heimicke, J., Hirschter, T., Richter, T., Reiß, N., Maier, A. & Bursac, N. (2018). Managing systems of objectives in the agile development of mechatronic systems by ASD – Agile Systems Design. In C. Boks, J. Sigurjonsson, M. Steinert, C. Vis & A. Wulvik (Hg.), *Proceedings of the 13th NordDesign: Design in the Era of Digitalization 2018. Konferenz, Linköping, Schweden* (o.S.).
- Albers, A., Heimicke, J. & Spadinger, M. (2019). Agility and its features in mechatronic system development: A systematic literature review. In I. Bitran, S. Conn, E. Huizingh, J. Hyland, M. Torkkeli & B. Woeran (Hg.), *Proceedings of 30th ISPIM Innovation Conference (ISPIM) 2019. Konferenz, Florenz, Italien* (o.S.).
- Albers, A., Heimicke, J., Spadinger, M., Reiß, N., Breitschuh, J., Richter, T., Bursac, N. & Marthaler, F. (2019). *Eine Systematik zur situationsadäquaten Mechatroniksystementwicklung durch ASD - Agile Systems Design* [KIT scientific Working Papers (113)]. Karlsruher Institut für Technologie, Karlsruhe.
- Albers, A., Heimicke, J., Walter, B., Basedow, G. N., Reiß, N., Heitger, N., Ott, S. & Bursac, N. (2018). Product Profiles: Modelling customer benefits as a foundation to bring inventions to innovations. In F. Laroche & A. Bernard (Hg.), *Proceedings of the 28th CIRP Design Conference (CIRP) 2018. Konferenz, Nantes, Frankreich* (S. 253–258).
- Albers, A., Heitger, N., Haug, F., Fahl, J., Hirschter, T. & Bursac, N. (2018). Supporting potential innovation in the early phase of PGE - Product Generation Engineering: Structuring the development of the initial system of objectives. In M. Calderini, D. Chiaroni, M. Corso, R. Manzini & R. Verganti (Hg.), *Proceedings of the R&D Management Conference 2018. Konferenz, Milan, Italien* (o.S.).
- Albers, A., Klingler, S. & Ebel, B. (2013). Modeling systems of objectives in engineering design practice. In U. Lindemann, S. Venkataraman, Y. Kim, S. W. Lee, J. Clarkson & G. Cascini (Hg.), *Proceedings of the 19th International Conference on Engineering Design (ICED) 2013. Konferenz, Seoul, Korea* (S. 379–388).

- Albers, A., Klingler, S. & Wagner, D. (2014). Prioritization of validation activities in product development processes. In D. Marjanović, M. Štorga, N. Pavković & N. Bojčetić (Hg.), *Proceedings of the 13th International Design Conference (DESIGN) 2014. Konferenz, Dubrovnik, Kroatien* (S. 81–90).
- Albers, A., Kurrle, A. & Klingler, S. (2016). The Connected Car - A system-of-systems: Exploration of challenges in development from experts view. In M. Bargende, H.-C. Reuss & J. Wiedemann (Hg.), *16. Internationales Stuttgarter Symposium Automobil und Motorentechnik. Symposium, Stuttgart* (S. 603–614).
- Albers, A., Lohmeyer, Q. & Ebel, B. (2011). Dimensions of objectives in interdisciplinary product development projects. In S. J. Culley, B. J. Hicks, T. C. McAloone, T. J. Howard & U. Lindemann (Hg.), *Proceedings of the 18th International Conference on Engineering Design (ICED) 2011: Impacting society through engineering design. Konferenz, Lyngby/Copenhagen, Dänemark* (S. 256–265).
- Albers, A., Lüdcke, R., Bursac, N. & Reiß, N. (2014). Connecting Knowledge-Management-Systems to improve a continuous flow of knowledge in engineering design processes. In I. Horváth & Z. Rusák (Hg.), *Proceedings of the 10th International Symposium on Tools and Methods of Competitive Engineering (TMCE) 2014. Symposium, Budapest, Ungarn* (S. 393–402).
- Albers, A., Mandel, C., Yan, S. & Behrendt, M. (2018). System of systems approach for the description and characterization of validation environments. In D. Marjanović, M. Štorga, S. Škec, N. Bojčetić & N. Pavković (Hg.), *Proceedings of the 15th International Design Conference (DESIGN) 2018. Konferenz, Dubrovnik, Kroatien* (S. 2799–2810).
- Albers, A., Matros, K., Behrendt, M. & Jetzinger, H. (2015). Das Pull-Prinzip der Validierung - Ein Referenzmodell zur effizienten Integration von Validierungsaktivitäten in den Produktentstehungsprozess. *Konstruktion - Zeitschrift für Produktentwicklung und Ingenieur-Werkstoffe*, 67(6), S. 74–81.
- Albers, A., Matthiesen, S., Bursac, N., Moeser, G., Schmidt, S. & Lüdcke, R. (2014). Abstraktionsgrade der Systemmodellierung - von der Sprache zur Anwendung. In M. Maurer & S.-O. Schulze (Hg.), *Tag des Systems Engineering (TdSE) 2014. Konferenz, Bremen* (S. 183–192).
- Albers, A., Maul, L. & Bursac, N. (2013). Internal innovation communities from a user's perspective: How to foster motivation for participation. In M. Abramović &

R. Stark (Hg.), *Proceedings of the 23rd CIRP Design Conference (CIRP) 2013, Smart product engineering. Konferenz, Bochum* (S. 525–534).

- Albers, A., Peglow, N., Powelske, J., Birk, C. & Bursac, N. (2018). Coping with complex systems-of-systems in the context of PGE - Product Generation Engineering. In F. Laroche & A. Bernard (Hg.), *Proceedings of the 28th CIRP Design Conference (CIRP) 2018. Konferenz, Nantes, Frankreich* (S. 457–462).
- Albers, A., Peglow, N. & Spadinger, M. (2019). Interdependencies within the system of objectives of a product generation in industrial practice. In S. Wartzack, B. Schleich & Gon (Hg.), *Proceedings of the 22nd International Conference on Engineering Design (ICED) 2019. Konferenz, Delft, Niederlande* (S. 1185–1194).
- Albers, A., Rapp, S., Birk, C. & Bursac, N. (2017). Die Frühe Phase der PGE - Produktgenerationsentwicklung. In H.-G. Binz, B. Bertsche, W. Bauer, D. Spath & D. Roth (Hg.), *Stuttgarter Symposium für Produktentwicklung (SSP) 2017. Symposium, Stuttgart* (o.S.).
- Albers, A., Rapp, S., Heitger, N., Wattenberg, F. & Bursac, N. (2018). Reference products in PGE - Product Generation Engineering: Analyzing challenges based on the system hierarchy. In F. Laroche & A. Bernard (Hg.), *Proceedings of the 28th CIRP Design Conference (CIRP) 2018. Konferenz, Nantes, Frankreich* (S. 469–474).
- Albers, A., Rapp, S., Peglow, N., Stürmlinger, T., Heimicke, J., Wattenberg, F. & Wessels, H. (2019). Variations as activity patterns: A basis for project planning in PGE – Product Generation Engineering. In G. Putnik & H. Vasconcelos (Hg.), *Proceedings of the 29th CIRP Design Conference (CIRP) 2019: Open design and design as exponential technology. Konferenz, Póvoa de Varzim, Portugal* (S. 966–972).
- Albers, A., Rapp, S., Spadinger, M., Richter, T., Birk, C., Marthaler, M., Heimicke, J., Kurtz, V. & Wessels, H. (2019a). *Das Referenzsystem im Modell der PGE – Produktgenerationsentwicklung: Vorschlag einer generalisierten Beschreibung von Referenzprodukten und ihrer Wechselbeziehungen* [KIT scientific Working Papers (96)]. Karlsruher Institut für Technologie, Karlsruhe.
- Albers, A., Rapp, S., Spadinger, M., Richter, T., Birk, C., Marthaler, F., Heimicke, J., Kurtz, V. & Wessels, H. (2019b). The reference system in PGE - Product Generation Engineering: Proposing a generalized description of reference pro-

- ducts and their interrelations. In S. Wartzack, B. Schleich & Gon (Hg.), *Proceedings of the 22nd International Conference on Engineering Design (ICED) 2019. Konferenz, Delft, Niederlande* (S. 1693–1702).
- Albers, A., Reiß, N., Bursac, N. & Breitschuh, J. (2016). 15 years of SPALTEN problem solving methodology in product development. In C. Boks, J. Sigurjons-son, M. Steinert, C. Vis & A. Wulvik (Hg.), *Proceedings of NordDesign 2016. Konferenz, Trondheim, Norwegen* (S. 411–420).
- Albers, A., Reiß, N., Bursac, N. & Richter, T. (2016). The integrated Product engineering Model (iPeM) in context of Product Generation Engineering. In L. Wang & T. Kjellberg (Hg.), *Proceedings of the 26th CIRP Design Conference (CIRP) 2016. Konferenz, Stockholm, Schweden* (S. 100–105).
- Albers, A., Reiß, N., Bursac, N., Schwarz, L. & Lüdcke, R. (2013). Modelling technique for knowledge management, process management and method application - A Formula student exploratory study. In M. Schabacker, K. Gericke, N. Szélig & S. Vajna (Hg.), *Proceedings of the 3rd International Conference for Modelling and Management of Engineering Processes (MMEP) 2013. Konferenz, Magdeburg* (S. 151–162).
- Albers, A., Revfi, S. & Spadinger, M. (2018). Extended target weighing approach – Estimation of technological uncertainties of concept ideas in product development processes. In SAE International (Hg.), *Proceedings of the 2nd CO2 Reduction for Transportation Systems Conference (CO2) 2018. Konferenz, Turin, Italien* (S. 367–376).
- Albers, A., Scherer, H., Bursac, N. & Rachenkova, G. (2015). Model Based Systems Engineering in construction kit development - Two case studies. In M. Shpitalni, A. Fischer & G. Molcho (Hg.), *Proceedings of the CIRP 25th Design Conference Innovative Product Creation 2015. Konferenz, Haifa, Israel* (S. 129–134).
- Albers, S. & Herrmann, A. (2002). Erster Teil Begriff und Anliegen des Produktmanagement: Ziele, Aufgaben und Grundkonzept des Produktmanagement. In S. Albers & A. Herrmann (Hg.), *Handbuch Produktmanagement: Strategieentwicklung - Produktplanung - Organisation - Kontrolle* (2. Aufl., S. 3–20). Gabler Verlag, Wiesbaden.
- Aldanondo, M. & Vareilles, E. (2008). Configuration for mass customization: how to extend product configuration towards requirements and process configuration. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 19(5), S. 521–535.

- Alfen, H. W., Bauer, T., Bodenmüller, E., Brezinski, H., Brömer, K., Grove, N., Güther, P., Jacob, D. & Oepen, R.-P. (2013). *Ökonomie des Baumarktes: Grundlagen und Handlungsoptionen: Zwischen Leistungsversprecher und Produktanbieter*. Springer Fachmedien, Wiesbaden.
- Aral AG. (2007). *Aral Studie: Trends beim Autokauf 2007*. Marktforschung. Bochum.
- Arnold, V., Dettmering, H., Engel, T. & Karcher, A. (2011). *Product Lifecycle Management beherrschen: Ein Anwenderhandbuch für den Mittelstand* (2. Aufl.). Springer-Verlag, Berlin.
- Automobil-Produktion (2005). Wahnsinn mit Methode. *Automobil-Produktion*, S. 38–42.
- Baxter, D., Gao, J., Case, K., Harding, J., Young, B., Cochrane, S. & Dani, S. (2007). An engineering design knowledge reuse methodology using process modelling. *Research in Engineering Design*, 18(1), S. 37–48.
- Baxter, D., Gao, J., Case, K., Harding, J., Young, B., Cochrane, S. & Dani, S. (2008). A framework to integrate design knowledge reuse and requirements management in engineering design. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 24(4), S. 585–593.
- Becker, J. E. (2014). *Methodischer Beitrag zum neuen Einsatz von Techniken der formalen Verifikation bei seriellen Busprotokollen im automobilen Umfeld* [Dissertation]. Karlsruher Institut für Technologie, Karlsruhe.
- Binz, H.-G., Bertsche, B., Bauer, W., Spath, D. & Roth, D. (Hg.). (2017). *Stuttgarter Symposium für Produktentwicklung (SSP) 2017*. Symposium, Stuttgart.
- Blessing, L. T. M. & Chakrabarti, A. (2009). *DRM, a design research methodology*. Springer-Verlag, London.
- Bockel, B., Thees, M. & Wenzel, S. (2010). Plattform zur Unterstützung der Angebotsphase für Simulationsstudien: Web-based Planning of Offers for Simulation Studies. In G. Zülch & P. Stock (Hg.), *Integrationsaspekte der Simulation: Technik, Organisation und Personal* (S. 501–508). KIT Scientific Publishing, Karlsruhe.
- Bodin, L. & Gass, S. I. (2003). On teaching the analytic hierarchy process. *Computers & Operations Research*, 30(10), S. 1487–1497.

- Boehm, B. W. (1988). A Spiral Model of software development and enhancement. *IEEE Computer*, 21(5), S. 61–72.
- Borenich, A., Greistorfer, P., Reimann, M., Schafner, M. & Umzeitig, W. (2014). Unterstützung des Angebotsprozesses eines Automobilzulieferers durch ein Produktionsmodell mit mehreren Gewerken. In H. E. Zsifkovits (Hg.), *Logistische Modellierung: 2. Wissenschaftlicher Industrielogistik-Dialog (WiLD). Dialog, Leoben, Österreich* (S. 57–71).
- Bortz, J. & Döring, N. (2006). *Forschungsmethoden und Evaluation für Human- und Sozialwissenschaftler* (4. Aufl.). Springer Medizin Verlag, Heidelberg.
- Brown, T. & Wyatt, J. (2010). Design Thinking for Social Innovation. *Stanford Social Innovation Review*, S. 30–35.
- Browning, T. R. (2001). Applying the design structure matrix to system decomposition and integration problems: A review and new directions. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 48(3), S. 292–306.
- Buchholz, M. & Souren, R. (2008). *Variantenvielfalt: Definitivische Überlegungen zu einem zentralen Begriff des Variantenmanagements* [Illmenauer Schriften zur Betriebswirtschaftslehre]. Technische Universität Ilmenau, Ilmenau.
- Buck, H. (2009). Kapitel 2.6: Aktuelle Unternehmenskonzepte und die Entwicklung der Arbeitsorganisation - Visionen und Leitbilder. In H.-J. Bullinger, D. Spath, H.-J. Warnecke & E. Westkämper (Hg.), *VDI-Buch. Handbuch Unternehmensorganisation: Strategien, Planung, Umsetzung* (3. Aufl., S. 87–105). Springer-Verlag, Berlin.
- Burge, J. & Brown, D. C. (2012). Reasoning with design rationale. In J. S. Gero (Hg.), *Artificial Intelligence in design* (S. 611–629). Springer Science+Business Media, Dordrecht, Niederlande.
- Bursac, N. (2016). *Model Based Systems Engineering zur Unterstützung der Baukastenentwicklung im Kontext der Frühen Phase der Produktgenerationsentwicklung* [Dissertation]. Karlsruher Institut für Technologie, Karlsruhe.
- Busby, J. S. (1998). Effective practices in design transfer. *Research in Engineering Design*, 10(3), S. 178–188.

- Büyükközkcan, G. & Fezyioglu, O. (2004). A fuzzy-logic-based decision-making approach for new product development. *International Journal of Production Economics*, 90(1), S. 27–45.
- Caesar, C. (1991). *Kostenorientierte Gestaltungsmethodik für variantenreiche Serienprodukte: Variant Mode and Effects Analysis (VMEA)* [Dissertation]. Technische Hochschule RWTH Aachen, Aachen.
- Cagan, J. & Vogel, C. M. (2005). Kapitel 16: Integrated new product development. In J. Clarkson & C. Eckert (Hg.), *Design process improvement: A review of current practice* (1. Aufl., S. 386–403). Springer-Verlag, London.
- Campos, A. A. de & Henriques, E. (2017). Identification, classification and modeling uncertainty in early stage design of manufacturing systems - A survey. In J. S. Gomes & S. A. Meguid (Hg.), *Proceedings of the 7th International Conference on Mechanics and Materials in Design 2017. Konferenz, Albufeira, Portugal* (S. 1477–1496).
- Cantamessa, M. (2005). Kapitel 17: Product portfolio management. In J. Clarkson & C. Eckert (Hg.), *Design process improvement: A review of current practice* (1. Aufl., S. 404–435). Springer-Verlag, London.
- Chan, L.-K. & Wu, M.-L. (2002). Quality function deployment: A literature review. *European Journal of Operational Research*, 143(3), S. 463–497 (Invited Review).
- Conforto, E. C., Amaral, D. C., da Silva, S. L., Di Felippo, A. & Kamikawachi, D. S. L. (2016). The agility construct on project management theory. *International Journal of Project Management*, 34(4), S. 660–674.
- Cooper, R., Edgett, S. & Kleinschmidt, E. (2001). Portfolio management for new product development: results of an industry practices study. *R&D Management*, 31(4), S. 361–380.
- Cooper, R. G. (1983). A process model for industrial new product development. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 30(1), S. 2–11.
- Cooper, R. G. (1990). Stage-Gate Systems: A new tool for managing new products. *Business Horizons*, 33(3), S. 44–54.
- Cooper, R. G. (1999). From experience: The invisible success factors in product innovation. *Journal Product Innovation Management*, 16(2), S. 115–133.

- Cooper, R. G. (2014). What's next after Stage-Gate? *Research-Technology Management*, 157(1), S. 20–31.
- Cooper, R. G. (2016). Agile-Stage-Gate Hybrids. *Research-Technology Management*, 59(1), S. 21–29.
- Cooper, R. G. & Edgett, S. J. (2001). *Portfolio management for new products, picking the winners* [Reference Paper 11]. Product Development Institute Inc., Stage-Gate Inc., Ancaster, Ontario, Kanada.
- Cooper, R. G., Edgett, S. J. & Kleinschmidt, E. J. (1999). New product portfolio management: Practices and performance. *Journal Product Innovation Management*, 16(4), S. 333–351.
- Cooper, R. G. & Kleinschmidt, E. J. (1986). An investigation into the new product process: Steps, deficiencies, and impact. *Journal Product Innovation Management*, 3(2), S. 71–85.
- Cooper, R. G. & Kleinschmidt, E. J. (1998). Benchmarking the firm's critical success factors in new product development. *The Journal of Product Innovation Management*, 12(5), S. 374–391.
- Cross, N. (2005). *Engineering design methods: Strategies for product design* (4. Aufl.). John Wiley & Sons Ltd, Chichester, England.
- DerWesten.de. (4. September 2011). "Auto-Papst" Dudenhöffer rechnet für 2015 mit 415 Auto-Modellen [Press release]. Duisburg. <https://www.derwesten.de/auto/auto-papst-dudenhoeffer-rechnet-fuer-2015-mit-415-auto-modellen-id5015561.html>, 22.04.2019.
- Di Benedetto, C. A. (1999). Identifying the key success factors in new product launch. *Journal Product Innovation Management*, 16(6), S. 530–544.
- DIN 199-1 (03.2002). *Technische Produktdokumentation CAD-Modelle, Zeichnungen und Stücklisten, Teil 1: Begriffe*. Berlin. Beuth Verlag GmbH.
- DIN 69901-5 (01.2009). *Projektmanagement - Projektmanagementsysteme, Teil 5: Begriffe*. Berlin. Beuth Verlag GmbH.
- Duden. (2018). *Wörterbuch*. Bibliographisches Institut GmbH. <https://www.duden.de/rechtschreibung/System>, 17.04.2019.

- Duffy, A. H. B. & Ferns, A. F. (1999). An analysis of design reuse benefits. In U. Lindemann, H. Birkhofer, H. Meerkamm & S. Vajna (Hg.), *Proceedings of the 12th International Conference on Engineering Design (ICED) 1999. Konferenz, München* (S. 799–804).
- Ebel, B. (2014). *Modellierung von Zielsystemen in der interdisziplinären Produktentstehung* [Dissertation]. Karlsruher Institut für Technologie, Karlsruhe.
- Eckert, C. M., Alink, T. & Albers, A. (2010). Issue driven analysis of an existing product at different levels of abstraction. In D. Marjanovic, M. Storga, N. Pavkovic & N. Bojetic (Hg.), *Proceedings of the 11th International Design Conference (DESIGN) 2010. Konferenz, Dubrovnik, Kroatien* (S. 673–682).
- Ehinger, G., Eisenhart-Rothe, M. v., Hauck, C., Klostermann, F., Krumann, R., Murtic, S., Puri, W., Spors, K. & Zschelle, M. (2002). Komplexitätsmanagement. In Bundesministerium für Bildung und Forschung, Projektträgerchaft Produktion und Fertigungstechnologien, Forschungszentrum Karlsruhe (Hg.), *Leitprojekt integrierte Virtuelle Produktentstehung. Abschlussbericht* (S. 105–114).
- Ehrlenspiel, K. (2009). *Integrierte Produktentwicklung: Denkabläufe, Methodeneinsatz, Zusammenarbeit* (4. Aufl.). Carl Hanser Verlag, München.
- Eigner, M. (2009). Kapitel 4.3: IT-Lösungen für den Produktentwicklungsprozess. In H.-J. Bullinger, D. Spath, H.-J. Warnecke & E. Westkämper (Hg.), *VDI-Buch. Handbuch Unternehmensorganisation: Strategien, Planung, Umsetzung* (3. Aufl., S. 247–260). Springer-Verlag, Berlin.
- Elgh, F. (2012). Decision support in the quotation process of engineered-to-order products. *Advanced Engineering Informatics*, 26(1), S. 66–79.
- Emcien Corp. (2017). *Transforming big data into big value: An enterprise-wide approach to improving profitability*. White Paper. Atlanta, USA.
- Eppinger, S. D. & Browning, T. R. (2012). *Design structure matrix methods and applications*. MIT Press, Cambridge, England.
- Erdogmus, S., Aras, H. & Koc, E. (2006). Evaluation of alternative fuels for residential heating in Turkey using analytic network process (ANP) with group decision-making. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 10(3), S. 269–279.

- Eriksson, J., Johnsson, S. & Olsson, R. (2008). Modelling decision-making in complex product development. In D. Marjanovic, M. Storga, N. Pavkovic & N. Bojetic (Hg.), *Proceedings of the 9th International Design Conference (DESIGN) 2008. Konferenz, Dubrownik, Kroatien* (S. 1129–1138).
- Erler, F. (2015). *Downstream-Risiken in der automobilen Wertschöpfungskette: Instrument zur Risikobewältigung in der Kundenbeziehung von Automobilzulieferern* [Dissertation]. Technische Universität Dresden, Dresden.
- Eversheim, W. (1990). *Organisation in der Produktionstechnik: Band 2 Konstruktion* (2. Aufl.). *Studium und Praxis*. Springer-Verlag, Berlin.
- Eversheim, W., Schuh, G. & Assmus, D. (2005). Kapitel 2: Integrierte Produkt- und Prozessgestaltung. In W. Eversheim & G. Schuh (Hg.), *VDI. Integrierte Produkt- und Prozessgestaltung* (S. 5–20). Springer-Verlag, Berlin.
- Felkai, R. & Beiderwieden, A. (2015). *Projektmanagement für technische Projekte: Ein Leitfaden für Studium und Beruf* (3. Aufl.). Springer Fachmedien, Wiesbaden.
- Fiedler, R. (2014). *Controlling von Projekten: Mit konkreten Beispielen aus der Unternehmenspraxis - Alle Aspekte der Projektplanung, Projektsteuerung und Projektkontrolle* (6. Aufl.). Springer Fachmedien, Wiesbaden.
- Fink, A., Schlake, O. & Siebe, A. (2002). *Erfolg durch Szenario-Management: Prinzip und Werkzeuge der strategischen Vorausschau*. Campus Verlag, Frankfurt/Main.
- Fink, A. & Siebe, A. (2013). *Scenario-Manager™ 2013: Quick Start*. Handbuch.
- Fink, A. & Siebe, A. (2016). *Szenario-Management: Von strategischem Vorausdenken zu zukunftsrobusten Entscheidungen*. Campus Verlag, Frankfurt/Main.
- Fink, A. & Siebe, A. (2019). *Homepage der Scenario Management International (ScMI) AG*. <https://www.scmi.de/en/>, 05.05.2019.
- Fischer, P., Maronde, M. & Schwiers, J. A. (2007). *Das Auftragsrisiko im Griff: Ein Leitfaden zur Risikoanalyse für Bauunternehmer* (1. Aufl.). Friedr. Vieweg & Sohn Verlag, Wiesbaden.

- Fletcher, D. & Gu, P. (2005). Adaptable design for design reuse. In I. Yellowley & P. Gu (Hg.), *Proceedings of the Canadian Design Engineering Network (CDEN) 2005. Konferenz, Kaninaskis, Kanada* (o.S.).
- Franke, H.-J. (1998). Variantenvielfalt und resultierende Komplexität, Ursachen und Methoden zu ihrer Bewältigung. In H. Meerkamm (Hg.), *9. Symposium "Fertigungsgerechtes Konstruieren" 1998. Symposium, Schnaittach* (S. 19–32).
- Franke, H.-J., Hesselbach, J., Huch, B. & Firchau, N. L. (2002). *Variantenmanagement in der Einzel- und Kleinserienfertigung*. Hanser Fachbuchverlag, München.
- Garrel, J. v. (2013). *Flexibilisierung der Produktion - Maßnahmen und Status-Quo: Handreichungen für die betriebliche Praxis* (flexipro Nr. 2). Aachen. Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und -automatisierung IFF, Geschäftsfeld Logistik- und Fabrikssysteme LFS.
- Gaterrer, H. (2012). Kapitel 2: Megatrend bezeugen den Wandel, Oder: Warum wir Innovationen brauchen? In P. Granig & E. Hartlieb (Hg.), *Die Kunst der Innovation: Von der Idee zum Erfolg* (S. 25–40). Springer Fachmedien, Wiesbaden.
- Gausemeier, J., Fink, A. & Schlake, O. (1996). *Szenario-Management: Planen und Führen mit Szenarien* (2. Aufl.). Carl Hanser Verlag, München.
- Gausemeier, J. & Plass, C. (2014). *Zukunftsorientierte Unternehmensgestaltung: Strategien, Geschäftsprozesse und IT-Systeme für die Produktion von morgen* (2. Aufl.). Carl Hanser Verlag, München.
- Geiger, I. & Krüger, S. (2013). Kapitel 2: Anfragenbewertung und Angebotserstellung. In M. Kleinaltenkamp, W. Plinke & I. Geiger (Hg.), *Auftrags- und Projektmanagement: Mastering Business Markets* (2. Aufl., S. 59–90). Springer Fachmedien, Wiesbaden.
- Gopalakrishnan, M., Libby, T., Samuels, J. A. & Swenson, D. (2015). The effect of cost goal specificity and new product development process on cost reduction performance. *Accounting, Organizations and Society*, 42, S. 1–11.
- Göpfert, I. & Braun, D. (2017). Kapitel 2: Stand und Zukunft des Supply Chain Managements in der Automobilindustrie - Ergebnisse einer empirischen Studie. In I. Göpfert, D. Braun & M. Schulz (Hg.), *Automobillogistik: Stand und Zukunftstrends* (3. Aufl., S. 29–39). Springer Fachmedien, Wiesbaden.

- Göpfert, I., Schulz, M. & Wellbrock, W. (2017). Kapitel 1: Trends in der Automobillogistik. In I. Göpfert, D. Braun & M. Schulz (Hg.), *Automobillogistik: Stand und Zukunftstrends* (3. Aufl., S. 1–26). Springer Fachmedien, Wiesbaden.
- Göpfert, J. (1998). *Modulare Produktentwicklung: Zur gemeinsamen Gestaltung von Technik und Organisation* [Dissertation]. Universität München, München.
- Göpfert, J. & Tretow, G. (o.J.). *METUS Software*. <https://www.id-consult.com/>, 23.04.2019.
- Grammel, R., Dispan, J. & Stieler, S. (2000). *Automobil-Clusterreport 2000: eBusiness or no Business? Aktuelle Herausforderungen für Kfz-Zulieferer in der Region Stuttgart*.
- Handelsblatt. (27. Dezember 2013). *Audi will 22 Milliarden Euro investieren* [Press release]. Frankfurt. <https://www.handelsblatt.com/unternehmen/industrie/neue-modelle-und-technologien-audi-will-22-milliarden-euro-investieren/9264790.html?ticket=ST-3641219-GEXnJVAhCm1FP6GsXAPW-ap1>, 22.04.2019.
- Hartmann, P. & Heine, M. (2012). Kapitel 8.5: FMEDA. In M. Werdich (Hg.), *FMEA - Einführung und Moderation: Durch systematische Entwicklung zur übersichtlichen Risikominimierung (inkl. Methoden im Umfeld* (2. Aufl., S. 162–168). Springer Fachmedien, Wiesbaden.
- Heimicke, J., Reiß, N., Albers, A., Walter, B., Breitschuh, J., Knoche, S. & Bursac, N. (2018). Agile innovative impulses in Product Generation Engineering: Creativity by intentional forgetting. In E. Dekoninck, C. Snider, Y. Nagai & A. Wodehouse (Hg.), *Proceedings of the 5th International Conference on Design Creativity (ICDC) 2018. Konferenz, Bath, Großbritannien* (S. 183–190).
- Heina, J. (1999). *Variantenmanagement: Kosten-Nutzen-Bewertung zur Optimierung der Variantenvielfalt*. Gabler Edition Wissenschaft. Springer Fachmedien, Wiesbaden.
- Heising, W. (2012). The integration of ideation and project portfolio management — A key factor for sustainable success. *International Journal of Project Management*, 30(5), S. 582–595.
- Henderson, B. (1970). *The product portfolio*. <https://www.bcg.com/de-de/publications/1970/strategy-the-product-portfolio.aspx>, 25.09.2019.

- Henderson, R. M. & Clark, K. B. (1990). Architectural innovation: The reconfiguration of existing product technologies and the failure of established firms. *Administrative Science Quarterly*, 35(1), S. 9–30.
- Herrmann, A. & Seilheimer, C. (2002). Dritter Teil Produktplanung, Kapitel 3: Produktprogrammplanung, Variantenmanagement. In S. Albers & A. Herrmann (Hg.), *Handbuch Produktmanagement: Strategieentwicklung - Produktplanung - Organisation - Kontrolle* (2. Aufl., S. 647–677). Gabler Verlag, Wiesbaden.
- Heß, W. (20. Mai 2008). *Ein Blick in die Zukunft - acht Megatrends, die Wirtschaft und Gesellschaft verändern* (Working Paper Nr. 13). Allianz Dresdner Economic Research.
- Holzbaur, U. (2007). *Entwicklungsmanagement: Mit hervorragenden Produkten zum Markterfolg*. Springer-Verlag, Berlin.
- Hsuan, J. & Vepsäläinen, A. P. J. (1999). Teil 2: Bewertung, Variation und Auswahl, Kapitel 4: Strategisches Portfolio-Management von FuE-Projekten. In M. G. Möhrle (Hg.), *Innovations- und Technologiemanagement. Der richtige Projekt-Mix: Erfolgsorientiertes Innovations- und FuE-Management* (S. 53–72). Springer-Verlag, Berlin.
- Hvam, L., Pape, S. & Nielsen, M. K. (2006). Improving the quotation process with product configuration. *Computers in Industry*, 57(7), S. 607–621.
- IEEE 610.12-1990 (28. September 1990). *IEEE standard glossary of software engineering terminology: IEEE Standards Board*. New York, USA.
- Ionica, A. C. & Leba, M. (2015). QFD integrated in new product development - Biometric identification system case study. In A. I. Iacob (Hg.), *Procedia Economics and Finance: Bd. 23. Proceedings of 2nd Global Conference on Business, Economics, Management and Tourism 2015. Konferenz, Prag, Tschechien* (S. 986–991).
- ISO/IEC 25010 (1. März 2011). *Systems and software engineering - Systems and software quality requirements and evaluation (SQuaRE) - System and software quality: International Standard*. Genf, Schweiz. Beuth-Hoser & Mende KG.
- ISO/IEC/IEEE 29148 (2018). *Systems and software engineering - Life cycle processes - Requirements engineering*. New York, USA.

- Jacobi, H.-F. & Landherr, M. (2013). Teil II Globale Wettbewerbsfähigkeit und der Produktionsbereich, Kapitel 6: Aspekte der Globalisierung. In E. Westkämper, D. Spath, C. Constantinescu & J. Lentjes (Hg.), *Digitale Produktion* (S. 23–28). Springer-Verlag, Berlin.
- Jansen, S. J. T. (2011). Kapitel 5: The multi-attribute utility method. In R. W. Goetgeluk, Coolen, H. C. C. H. & S. J. T. Jansen (Hg.), *The measurement and analysis of housing preference and choice* (S. 101–126). Springer Science+Business Media, Dordrecht, Niederlande.
- Jansen, S. J. T., Coolen, H. C. C. H. & Goetgeluk, R. W. (2011). Kapitel 1: Introduction. In R. W. Goetgeluk, Coolen, H. C. C. H. & S. J. T. Jansen (Hg.), *The measurement and analysis of housing preference and choice* (S. 1–26). Springer Science+Business Media, Dordrecht, Niederlande.
- Jarratt, T., Clarkson, J. & Eckert, C. (2005). Kapitel 10: Engineering change. In J. Clarkson & C. Eckert (Hg.), *Design process improvement: A review of current practice* (1. Aufl., S. 262–285). Springer-Verlag, London.
- Jetter, A. (2005). *Produktplanung im Fuzzy Front End: Handlungsunterstützungssystem auf der Basis von Fuzzy Cognitive Maps* [Dissertation]. Technische Hochschule RWTH Aachen, Aachen.
- Jiang, B. C. & Hsu, C.-H. (2003). Development of a fuzzy decision model for manufacturability evaluation. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 14, S. 169–181.
- Kaplan, R. S. & Norton, D. P. (2007). Kapitel 2: Informationsmanagement, Balanced Scorecard. In C. Boersch & R. Elschen (Hg.), *Das Summa Summarum des Management: Die 25 wichtigsten Werke für Strategie, Führung und Veränderung* (1. Aufl., 137-148). Gabler Verlag, Wiesbaden. Originalausgabe: Harvard Business School Press (1996).
- Karlström, D. & Runeson, P. (2005). Combining agile methods with stage-gate project management. *IEEE Software*, 22(3), S. 43–49.
- Karsak, E. E., Sozer, S. & Alptekin, S. E. (2002). Product planning in quality function deployment using a combined analytic network process and goal programming approach. *Computers & Industrial Engineering*, 44(1), S. 171–190.
- Katz, J. (2012). *Designing information: Human factors and common sense in information design*. John Wiley & Sons Ltd, Hoboken, USA.

- Kesper, H. (2012). *Gestaltung von Produktvariantenspektren mittels matrixbasierter Methoden* [Dissertation]. Technische Universität München, München.
- Keßler, H. & Winkelhofer, G. (2002). *Projektmanagement: Leitfaden zur Steuerung und Führung von Projekten* (3. Aufl.). Springer-Verlag, Berlin.
- Khurana, A. & Rosenthal, S. R. (1997). Integrating the fuzzy front end of new product development. *Sloan Management Review*, 38(2), S. 103–120.
- Kihlander, I. (2011). Exploring a decision-making forum in early product development. In S. J. Culley, B. J. Hicks, T. C. McAlloone, T. J. Howard & U. Lindemann (Hg.), *Proceedings of the 18th International Conference on Engineering Design (ICED) 2011: Impacting society through engineering design. Konferenz, Lyngby/Copenhagen, Dänemark* (S. 360–369).
- Kihlander, I. & Ritzén, S. (2009). Defficiencies in management of the concept development process: Theory and practice. In M. Norell Bergendahl, M. Grimheden, L. Leifer, P. Skogstad & U. Lindemann (Hg.), *Proceedings of the 17th International Conference on Engineering Design (ICED) 2009. Konferenz, Palo Alto, Kalifornien, USA* (S. 267–278).
- Kingsman, B., Hendry, L., Mercer, A. & Souza, A. de (1996). Responding to customer enquiries in make-to-order companies problems and solutions. *International Journal of Production Economics*, 46-47, S. 219–231.
- Kipp, T. & Krause, D. (2007). Entwicklung von Methoden zur variantengerechten Produktgestaltung. In H. Meerkamm (Hg.), *18. Symposium Design for X 2007. Symposium, Neukirchen* (S. 23–32).
- 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. (2001). Providing clarity and a common language to the "Fuzzy Front End". *Research - Technology Management*, 44(2), S. 46–55.
- Komorek, C. (1997). *Integrierte Produktentwicklung: Der Entwicklungsprozeß in mittelständischen Unternehmen der metallverarbeitenden Serienfertigung* [Dissertation]. Universität Duisburg, Duisburg.
- Kraftfahrt-Bundesamt. (o.J.). *Neuzulassungen von Pkw in den Jahren 2008 bis 2017 nach ausgewählten Kraftstoffarten*. https://www.kba.de/DE/Statistik/Fahrzeuge/Neuzulassungen/Umwelt/n_umwelt_z.html?nn=652326, 22.04.2019.

- Kreibich, R. (2009). *Zukunftsforschung zur Nachhaltigkeit - Forschungsfelder, Forschungsförderung, Forschungspolitik, Beitrag für das Handbuch "Wirtschaftspolitik"* (Arbeitsbericht Nr. 34). Berlin.
- Krumm, S., Schopf, K. D. & Rennekamp, M. (2014). Teil 2.3: Strategien für erfolgreiches Wachstum, Kapitel 13: Komplexitätsmanagement in der Automobilindustrie - optimaler Fit von Vielfalt am Markt, Produktstruktur, Wertstrom und Ressourcen. In B. Ebel & M. B. Hofer (Hg.), *Automotive Management: Strategie und Marketing in der Automobilwirtschaft* (2. Aufl., S. 189–206). Springer-Verlag, Berlin.
- Kühnapfel, J. B. (2014). *Nutzwertanalysen in Marketing und Vertrieb*. Springer Fachmedien, Wiesbaden.
- Kurek, R. (2004). *Erfolgsstrategien für Automobilzulieferer: Wirksames Management in einem dynamischen Umfeld*. Springer-Verlag, Berlin.
- Kuster, J., Huber, E., Lippmann, R., Schmid, A., Schneider, E., Witschi, U. & Wüst, R. (2011). *Handbuch Projektmanagement* (3. Aufl.). Springer-Verlag, Berlin.
- Langer, P., Böhmann, T. & Krcmar, H. (2010). Anforderungen an eine IT-unterstützte Angebotserstellung für hybride Produkte. In J. Becker, R. Knackstedt, O. Müller & A. Winkelmann (Hg.), *Vertriebsinformationssysteme: Standardisierung, Individualisierung, Hybridisierung und Internetisierung* (S. 147–160). Springer-Verlag, Berlin.
- Lechler, T. (2005). Teil 5: Organisation von Innovationen, Projektmanagement. In S. Albers & O. Gassmann (Hg.), *Handbuch Technologie- und Innovationsmanagement: Strategie - Umsetzung - Controlling* (S. 493–510). Gabler Verlag, Wiesbaden.
- Letier, E., Kramer, J., Magee, J. & Uchitel, S. (2005). Monitoring and control in scenario-based requirements analysis. In G.-C. Roman, W. Griswold & B. Nuseibeh (Hg.), *Proceedings of the 27th International Conference on Software Engineering (ICSE) 2005. Konferenz, St. Louis, USA* (S. 382–391).
- Likert, R. (1932). A technique for the measurement of attitudes. *Archives of Psychology*, 22, Artikel 140, S. 5–55.
- Lin, C.-T. & Chen, C.-T. (2004). A fuzzy-logic-based approach for new product go/nogo decision at the front end. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics 2004*, 34(1), S. 132–142.

- Lindemann, U. (2005). *Methodische Entwicklung technischer Produkte: Methoden flexibel und situationsgerecht anwenden*. VDI-Buch. Springer-Verlag, Berlin.
- Lindemann, U., Baumberger, C., Freyer, B., Gahr, A., Ponn, J. & Pulm, U. (2013). Kapitel 2: Entwicklung individualisierter Produkte. In G. Reinhart & M. F. Zäh (Hg.), *Marktchance Individualisierung* (1. Aufl., S. 13–30). Springer-Verlag, Berlin.
- Lindemann, U., Maurer, M. & Braun, T. (2009). *Structural Complexity Management: An approach for the field of product design*. Springer-Verlag, Berlin.
- Lingnau, V. (1994). *Variantenmanagement: Produktionsplanung im Rahmen einer Produktdifferenzierungsstrategie*. Betriebswirtschaftliche Studien: Bd. 58. Erich Schmidt Verlag GmbH & Co KG, Berlin.
- Lohmeyer, Q. (2013). *Menschzentrierte Modellierung von Produktentstehungssystemen unter besonderer Berücksichtigung der Synthese und Analyse dynamischer Zielsysteme* [Dissertation]. Karlsruher Institut für Technologie, Karlsruhe.
- Madauss, B.-J. (2017). *Projektmanagement: Theorie und Praxis aus einer Hand* (7. Aufl.). Springer-Verlag, Berlin.
- Maier, M. W. (1998). Architecting principles for systems-of-systems. *Systems Engineering - The Journal of The International Council on Systems Engineering*, 28, S. 267–284.
- Marsten, R., Caldwell, R. & Altman, C. (2019). *EmcienPatterns*. <https://emcien.com/>, 23.04.2019.
- Martin, M. V. & Ishii, K. (2002). Design for variety: developing standardized and modularized product platform architectures. *Research in Engineering Design*, 13(4), S. 213–235.
- Marxen, L. (2014). *A framework for design support development based on the integrated Product engineering Model iPeM* [Dissertation]. Karlsruher Institut für Technologie, Karlsruhe.
- Marxen, L. & Albers, A. (2012). Supporting validation in the development of design methods. In D. Marjanovic, M. Storga, N. Pavkovic & N. Bojetic (Hg.), *Proceedings of the 12th International Design Conference (DESIGN) 2012. Konferenz, Dubrovnik, Kroatien* (S. 1009–1018).

- Maurer, M., Boesch, N.-O., Sheng, G. & Tzonev, B. (2005). A tool for modelling flexible product structures - MOFLEPS. In A. E. Samuel & W. Lewis (Hg.), *Proceedings of the 15th International Conference on Engineering Design (ICED) 2005: Engineering design and the global economy. Konferenz, Melbourne, Australien* (S. 523–524).
- McKinsey & Company. (2008). *Enduring ideas: The GE–McKinsey nine-box matrix* [McKinsey Quarterly 2008, Article]. <https://www.mckinsey.com>, 23.04.2018.
- Meboldt, M. (2008). *Mentale und formale Modellbildung in der Produktentstehung - als Beitrag zum integrierten Produktentstehungs-Modell (iPeM)* [Dissertation]. Universität Karlsruhe, Karlsruhe.
- Meier, H., Maßberg, W. E. & Schramm, J. J. (2013). Kapitel 6: Kundenindividuelle Services auf Basis modularisierter Dienstleistungen. In G. Reinhart & M. F. Zäh (Hg.), *Marktchance Individualisierung* (1. Aufl., S. 65–74). Springer-Verlag, Berlin.
- MeinAuto GmbH. (19. August 2013). *Studie Neuwagenmarkt: Wie viele Modellvarianten gibt es pro Modell?* Presseinformation [Press release]. https://www.mein-auto.de/downloads/pressemitteilungen/pm_wie_viele_modellvarianten_pro_modell.pdf, 23.04.2019.
- Meinel, C. & Leifer, L. (2015). Introduction – Design thinking is mainly about building innovators. In L. Leifer (Hg.), *Understanding innovation. Design thinking research: Building innovators* (1-11). Springer International Publishing, Cham, Schweiz.
- Mißler-Behr, M. (1993). *Methoden der Szenarioanalyse. DUV Wirtschaftswissenschaft.* Springer Fachmedien, Wiesbaden.
- Molin, E. J. E. (2011). Kapitel 6: Conjoint Analysis. In R. W. Goetgeluk, Coolen, H. C. C. H. & S. J. T. Jansen (Hg.), *The measurement and analysis of housing preference and choice* (S. 127–156). Springer Science+Business Media, Dordrecht, Niederlande.
- Müller, C. & Denecke, L. (2013). *Stochastik in den Ingenieurwissenschaften: Eine Einführung mit R. Statistik und ihre Anwendungen.* Springer-Verlag, Berlin.
- Murray, S. L., Grantham, K. & Damle, S. B. (2011). Generic risk matrix approach for managing project risks. *Journal of Industrial and Systems Engineering*, 5(1), S. 35–51.

- Muschik, S. (2011). *Entwicklung von Zielsystemen in der frühen Produktentstehung* [Dissertation]. Karlsruher Institut für Technologie, Karlsruhe.
- Neuseibeh, B. & Easterbrook, S. (2000). Requirements engineering: A roadmap. In A. Finkelstein (Hg.), *Proceedings of the Conference on The Future of Software Engineering (ICSE) 2000. Konferenz, Limerick, Irland* (S. 35–46).
- Oliver Wyman. (17. Mai 2018). *Studie "Future Automotive Industry Structure - FAST 2020": Automobilindustrie vor stürmischen Zeiten*. Verband der Automobilindustrie [Press release]. München.
- Ozdemir, M. S. (2005). Validity and inconsistency in the analytic hierarchy process. *Applied Mathematics and Computation*, 161(3), S. 707–720.
- Pahl, G., Beitz, W., Feldhusen, J. & Grote, K.-H. (2005). *Konstruktionslehre: Grundlagen erfolgreicher Produktentwicklung Methoden und Anwendung* (6. Aufl.). *Springer-Lehrbuch*. Springer-Verlag, Berlin.
- Pakkanen, J., Huhtala, P., Juuti, T. & Lehtonen, T. (2016). Achieving benefits with design reuse in manufacturing industry. In L. Wang & T. Kjellberg (Hg.), *Proceedings of the 26th CIRP Design Conference (CIRP) 2016. Konferenz, Stockholm; Schweden* (S. 8–13).
- Peglow, N., Albers, A. & Mansdörfer, L. (2018). Classification of variants in the context of PGE - Product Generation Engineering in industrial practice. In IN-COSE (Hg.), *Proceedings of the EMEA Sector Systems Engineering Conference combined with Tag des Systems Engineering (EMEASEC/TdSE) 2018. Konferenz, Berlin* (o.S.).
- Peglow, N., Heimicke, J. & Albers, A. (2019). Agiler Bewertungsprozess in einer variantenreichen Produktgenerationsentwicklung. In H.-G. Binz, B. Bertsche, W. Bauer, O. Riedel, D. Spath & D. Roth (Hg.), *Stuttgarter Symposium für Produktentwicklung (SSP) 2019. Symposium, Stuttgart* (o.S.).
- Peglow, N., Powelske, J., Birk, C., Albers, A. & Bursac, N. (2017). Systematik zur Differenzierung von Varianten im Kontext der PGE - Produktgenerationsentwicklung. In K. Brökel, K.-H. Grote, R. Stelzer, F. Rieg, J. Feldhusen, N. Müller & P. Köhler (Hg.), *Tagungsband 15. Gemeinsames Kolloquium Konstruktions-technik 2017, Interdisziplinäre Produktenwicklung. Kolloquium, Duisburg* (S. 9–18).

- Pelz, W. (2004). *Strategisches und operatives Marketing in Übersichtsdarstellungen: Ein Leitfaden für die Erstellung eines professionellen Marketing-Plans*. Books on Demand GmbH, Norderstedt.
- Pfohl, H.-C. & Stölzle, W. (1991). Anwendungsbedingungen, Verfahren und Beurteilung der Prozeßkostenrechnung in industriellen Unternehmen. *Zeitschrift für Betriebswirtschaft*, 61(11), S. 1281–1305.
- Polasek, W. (1994). *EDA Explorative Datenanalyse: Einführung in die deskriptive Statistik* (2. Aufl.). Springer-Lehrbuch. Springer-Verlag, Berlin.
- Porter, M. E. (1996). What is strategy? *Harvard Business Review*, 74(6), S. 61-78 (reprint 96608, www.hbr.org).
- Rathnow, P. J. (1993). *Integriertes Variantenmanagement: Bestimmung, Realisierung und Sicherung der optimalen Produktvielfalt. Innovative Unternehmensführung: Bd. 20*. Vandenhoeck & Ruprecht, Göttingen.
- Raubold, U. (2011). *Lebenszyklusmanagement in der Automobilindustrie: Ein Optimierungsansatz auf Basis der auf den Lebenszyklus wirkenden Einflussfaktoren* [Dissertation]. Technische Universität Cottbus, Cottbus.
- Rebentisch, E. Conforto, E. C., Schuh, G., Riesener, M., Kantelberg, J., Amaral, D. C. & Januszek, S. (2018). Agility factors and their impact of product development performance. In D. Marjanović, M. Štorga, S. Škec, N. Bojčetić & N. Pavković (Hg.), *Proceedings of the 15th International Design Conference (DESIGN) 2018. Konferenz, Dubrovnik, Kroatien* (S. 893–904).
- Reckenfelderbäumer, M. (1998). *Entwicklungsstand und Perspektiven der Prozeßkostenrechnung* [Dissertation]. Universität Erlangen-Nürnberg, Erlangen-Nürnberg.
- Redpoint.teseon. (2018). *LOOME complexity Software*. <http://comingsoon.loome.com/>, 23.04.2019.
- Redpoint.teseon. (2019). *LOOME smart business apps*. <https://redpoint.teseon.com/>, 23.04.2019.
- Reichhuber, A. W. (2009). *Strategie und Struktur in der Automobilindustrie: Strategische und organisatorische Programme zur Handhabung automobilwirtschaftlicher Herausforderungen* [Dissertation]. Katholische Universität Eichstätt-Ingolstadt, Eichstätt-Ingolstadt.

- Reif, K. (Hg.). (2010). *Bosch Fachinformation Automobil. Moderne Diesel-Einspritzsysteme: Common Rail und Einzelzylindersysteme*. Vieweg+Teubner Verlag, Wiesbaden.
- Reinhart, G. & Cisek, R. (2013). Kapitel 7: Mit Mobilität zur wandlungsfähigen Produktion. In G. Reinhart & M. F. Zäh (Hg.), *Marktchance Individualisierung* (1. Aufl., S. 75–88). Springer-Verlag, Berlin.
- Reiß, N. (2018). *Ansätze zur Steigerung der Methodenakzeptanz in agilen Prozessen der PGE - Produktgenerationsentwicklung* [Dissertation]. Karlsruher Institut für Technologie, Karlsruhe.
- Riel, A., Neumann, M. & Tichkiewitch, S. (2013). Structuring the early fuzzy front-end to manage ideation for new product development. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 62(1), S. 107–110.
- Robert Bosch GmbH. (2018). *Bosch heute 2018*. https://assets.bosch.com/media/global/bosch_group/our_figures/pdf/bosch-heute-2018.pdf, 29.04.2019.
- Robert Bosch GmbH. (2019a). *Bosch Global - Invented for life*. www.bosch.com, 29.04.2019.
- Ropohl, G. (Hg.). (1975). *Systemtechnik - Grundlagen und Anwendung*. Carl Hanser Verlag, München.
- Ropohl, G. (2009). *Allgemeine Technologie: eine Systemtheorie der Technik*. Universitätsverlag, Karlsruhe.
- Roth, L. (2019). Kapitel 14: Die Logistik wird smart - Audi führt den selbststeuernden Anlieferprozess im Werk Ingolstadt ein, Ein Beitrag der Audi AG. In I. Göpfert (Hg.), *Logistik der Zukunft - Logistics for the future* (8. Aufl., S. 349–365). Springer Fachmedien, Wiesbaden.
- Rücker, A., Jaenicke, P. & Hofer, M. B. (2014). Kapitel 14: Aktives Vielfaltmanagement - Ertragssteigerung im automobilen Ersatzteilgeschäft. In B. Ebel & M. B. Hofer (Hg.), *Automotive Management: Strategie und Marketing in der Automobilwirtschaft* (2. Aufl., S. 207–214). Springer-Verlag, Berlin.
- Saaty, T. L. (2005). Kapitel 9: The Analytic Hierarchy and Analytic Network Processes for the measurement of intangible criteria and for decision-making. In J. Figueira, M. Ehrgott & S. Greco (Hg.), *International Series in Operations Research & Management Science: Bd. 78. Multiple criteria decision analysis:*

- State of the art surveys* (S. 345–408). Springer Science + Business Media Inc, Boston, USA.
- Saaty, T. L. (2008). Decision making with the Analytic Hierarchy Process. *International Journal of Services Sciences*, 1(1), S. 83–98.
- Saaty, T. L. & Vargas, L. G. (2006). *Decision making with the Analytic Network Process: Economic, political, social and technological applications with benefits, opportunities, costs and risks*. Springer Science+Business Media, New York, USA.
- Saaty, T. L. & Vargas, L. G. (2012). *Models, methods, concepts & applications of the Analytic Hierarchy Process* (2. Aufl.). *International Series in Operations Research & Management Science: Bd. 175*. Springer Science+Business Media, New York, USA.
- Sabin, D. & Weigel, R. (1998). Product configuration frameworks - A survey. *IEEE Intelligent Systems*, 13(4), S. 42–49.
- Schmid, T. (2009). *Variantenmanagement: Lösungsansätze in den einzelnen Phasen des Produktlebenszyklus zur Beherrschung von Variantenvielfalt*. Diplomica Verlag, Hamburg.
- Schmidt, T. S. & Paetzold, K. (2016). Agilität als Alternative zu traditionellen Standards in der Entwicklung physischer Produkte: Chancen und Herausforderungen. In D. Krause, K. Paetzold & S. Wartzack (Hg.), *Proceedings of the 27th Symposium Design for X (DfX) 2016. Symposium, Jesteburg* (S. 254–267).
- Schneidermeier, T. (2012). Design Reuse – Usability als Schlüsselfaktor für nachhaltiges Produktdesign. *Information - Wissenschaft & Praxis*, 63(5), S. 305–307.
- Schnellbach, A. & Wennmacher, H. (2012). FTA (Fault Tree Analysis). In M. Werdich (Hg.), *FMEA - Einführung und Moderation: Durch systematische Entwicklung zur übersichtlichen Risikominimierung (inkl. Methoden im Umfeld* (2. Aufl., 158-161). Springer Fachmedien, Wiesbaden.
- Schuh, G. & Baessler, E. (2009). Kapitel 4: Management des Produktlebenslaufs, Kapitel 4.2: Lebenszyklusorientierte Produktentwicklung. In H.-J. Bullinger, D. Spath, H.-J. Warnecke & E. Westkämper (Hg.), *VDI-Buch. Handbuch Unternehmensorganisation: Strategien, Planung, Umsetzung* (3. Aufl., S. 236–246). Springer-Verlag, Berlin.

- Schuh, G. & Riesener, M. (2018). *Produktkomplexität managen: Strategien - Methoden - Tools* (3. Aufl.). Carl Hanser Verlag, München.
- Schuh & Co. (2015). *Wir schauen für Sie in die Zukunft: Variantenplanung und -beherrschung: Was ist möglich und was ist sinnvoll?* (Complexity Manager). Aachen.
- Schumpeter, J. A. (1911). *Theorie der wirtschaftlichen Entwicklung* (2. Aufl.). Duncker & Humblot, Leipzig.
- Schwaber, K. & Sutherland, J. (2017). *The Scrum Guide: The Definitive Guide to Scrum: The Rules of the Game*. <https://www.scrumguides.org/>, 22.04.2019.
- Schwanfelder, W. (1989). *Internationale Anlagengeschäfte: Anbieterkonsortium, Projektabwicklung, Projektcontrolling*. Springer Fachmedien, Wiesbaden.
- Sedlmeier, L. (2014). *Entscheidungsunterstützung im Rahmen der Strategieimplementierung: Zwei Fallstudien zur Anwendung des Analytic Network Process im strategischen Controlling* [Dissertation]. Universität St. Gallen, St. Gallen.
- Seram, N. (2013). Decision making in product development - A review of the literature. *International Journal of Engineering and Applied Sciences*, 2(4), o.S.
- Siebe, A. & Michl, C. (2018). Kapitel 5: Wie Szenarien entwickelt werden. In A. Siebe (Hg.), *Die Zukunft vorausdenken und gestalten, Stärkung der Strategiekompetenz im Spitzencluster it's OWL* (S. 37–54). Springer-Verlag, Berlin.
- Soma, K. (2003). How to involve stakeholders in fisheries management - a country case study in Trinidad and Tobago. *Marine Policy*, 27(1), S. 47–58.
- SPIEGEL ONLINE. (15. Mai 2017). *Volkswagen-Affäre: Chronik eines Skandals* [Press release]. <https://www.spiegel.de/auto/aktuell/vw-abgasskandal-chronik-eines-skandals-a-1122730.html>, 22.04.2019.
- Stachowiak, H. (1973). *Allgemeine Modelltheorie*. Springer-Verlag, Wien.
- Stockmar, J. (2014). Kapitel 15: Erfolgsfaktoren für Automobilzulieferer – Strategien für 2020. In B. Ebel & M. B. Hofer (Hg.), *Automotive Management: Strategie und Marketing in der Automobilwirtschaft* (2. Aufl., S. 215–234). Springer-Verlag, Berlin.

- Uhlmann, E. (2013). Kapitel 11: Wandel der Fabrik durch Produktindividualisierung. In G. Reinhart & M. F. Zäh (Hg.), *Marktchance Individualisierung* (1. Aufl., S. 119–128). Springer-Verlag, Berlin.
- VDI 2206 (06.2004). *Entwicklungsmethodik für mechatronische Systeme*. Berlin. Beuth Verlag GmbH.
- VDI 2221-1 (03.2018). *Entwicklung technischer Produkte und Systeme: Modell der Produktentwicklung*. Berlin. Beuth Verlag GmbH.
- VDI 2519-1 (12.2001). *Vorgehensweise bei der Erstellung von Lasten-/Pflichtenheft*. Berlin. Beuth Verlag GmbH.
- VDI nachrichten. (7. Januar 2005). *Produktion: Automobilbauer suchen den profitablen Ausgleich zwischen individuellen Kundenwünschen und teurer Variantenvielfalt: Mehr Gleichteile kappen die Fertigungskosten* [Press release]. In-golstadt. https://alders-vmc.de/de/uploads/pdf/VDI_Nachrichten.pdf, 23.04.2019.
- Verworn, B. (2005). *Die frühen Phasen der Produktentwicklung: Eine empirische Analyse in der Mess-, Steuer- und Regelungstechnik* [Dissertation]. Technische Universität Bergakademie Freiberg, Freiberg.
- Verworn, B. (2009). A structural equation model of the impact of the "fuzzy front end" on the success of new product development. *Research Policy*, 38(10), S. 1571–1581.
- Walch, M. & Albers, A. (2014). Entscheidungsunterstützung bei der kunden- und anbiertergerechten Konzeptentwicklung im Rahmen der Angebotsdefinition in der Anpassungs- und Variantenkonstruktion. In F. Rieg, K. Brökel, J. Feldhusen, K.-H. Grote & R. Stelzer (Hg.), *Tagungsband 12. Gemeinsames Kolloquium Konstruktionstechnik 2014: Methoden in der Produktentwicklung: Koppung von Strategien und Werkzeugen im Produktentwicklungsprozess. Kolloquium, Bayreuth* (S. 275–286).
- Wallentowitz, H. & Leyers, J. (2014). Teil 2: Strategie - Profitables Wachstum in Märkten und Segmenten, Kapitel 3: Technologietrends in der Fahrzeugtechnik - Dimensionen, Verläufe und Interaktionen. In B. Ebel & M. B. Hofer (Hg.), *Automotive Management: Strategie und Marketing in der Automobilwirtschaft* (2. Aufl., S. 29–56). Springer-Verlag, Berlin.

- Wenzel, S., Collisi-Böhmer, S., Pitsch, H., Rose, O. & Weiß, M. (2008). *Qualitätskriterien für die Simulation in Produktion und Logistik: Planung und Durchführung von Simulationsstudien. VDI-Buch*. Springer-Verlag, Berlin.
- Werdich, M. (Hg.). (2012a). *FMEA - Einführung und Moderation): Durch systematische Entwicklung zur übersichtlichen Risikominimierung (inkl. Methoden im Umfeld (2. Aufl.)*. Springer Fachmedien, Wiesbaden.
- Werdich, M. (2012b). Kapitel 8: Methoden und Begriffe im Umfeld (und deren Schnittstellen zur FMEA). In M. Werdich (Hg.), *FMEA - Einführung und Moderation): Durch systematische Entwicklung zur übersichtlichen Risikominimierung (inkl. Methoden im Umfeld (2. Aufl., S. 139–197)*. Springer Fachmedien, Wiesbaden.
- Westkämpfer, E. (2013a). Kapitel 9: Wandlungsfähige Unternehmensstrukturen für variantenreiche Serienproduktion. In G. Reinhart & M. F. Zäh (Hg.), *Marktchance Individualisierung (1. Aufl., S. 95–108)*. Springer-Verlag, Berlin.
- Westkämpfer, E. (2013b). Teil I: Digitale Produktion - Einführung, Kapitel 1: Deindustrialisierung der Wirtschaft in den Industrieregionen. In E. Westkämpfer, D. Spath, C. Constantinescu & J. Lentjes (Hg.), *Digitale Produktion (S. 3–6)*. Springer-Verlag, Berlin.
- Wilmsen, M., Dühr, K., Heimicke, J. & Albers, A. (2019). The first steps towards innovation - A reference process model for developing product profiles. In S. Wartzack, B. Schleich & Gon (Hg.), *Proceedings of the 22nd International Conference on Engineering Design (ICED) 2019. Konferenz, Delft, Niederlande (S. 1673–1682)*.
- Wynn, D. C., Eckert, C. M. & Clarkson, P. J. (2007). Modelling iteration in engineering design. In J.-C. Bocquet (Hg.), *Proceedings of the 16th International Conference on Engineering Design (ICED) 2007. Konferenz, Paris, Frankreich (S. 693–694)*.
- Wynn, D. C., Grebici, K. & Clarkson, P. J. (2011). Modelling the evolution of uncertainty levels during design. *International Journal on Interactive Design and Manufacturing*, 5(3), S. 187–202.
- ZEIT ONLINE. (28. Juli 2017). *Gericht ebnet Weg für Fahrverbote in Stuttgart* [Press release]. <https://www.zeit.de/mobilitaet/2017-07/dieselaautos-umwelt-hilfe-erhaelt-prozess-um-fahrverbot-in-stuttgart>, 22.04.2019.

Zenner, C. (2006). *Durchgängiges Variantenmanagement in der Technischen Produktionsplanung* [Dissertation]. Universität des Saarlandes, Saarbrücken.

Zhong, T. & Dong, H. (2009). Human-centred design: An emergent conceptual model. In J. Clarkson, M. Howard & S. Wilcox (Hg.), *Proceedings of the International Conference on Inclusive Design, INCLUDE 2009. Konferenz, London, UK* (o.S.).

Zorzini, M., Corti, D. & Pozzetti, A. (2008). Due date (DD) quotation and capacity planning in make-to-order companies: Results from an empirical analysis. *International Journal of Production Economics*, 112(2), S. 919–933.

Studentische Abschlussarbeiten, die im Kontext dieser Dissertation am IPEK – Institut für Produktentwicklung am Karlsruher Institut für Technologie (KIT) von der Autorin Co-betreut wurden:

Omiditabrizi, H. (2019). *Implementierung einer Systematik zur Bewertung von Varianten in der automobilen Zulieferindustrie* [Masterarbeit]. Institut für Produktentwicklung, Karlsruher Institut für Technologie, Karlsruhe.

Literatur der Robert Bosch GmbH, die im Kontext dieser Dissertation von der Autorin verwendet wurde und die nicht öffentlich zugänglich ist:

Peglow, N. (6. März 2019). *SPRYness: computerimplementierte Bewertung von Varianten in der Angebotsphase des Produktlebenszyklus*. Erfindungsmeldung mit unternehmensinterner Ablage ohne weiteren Patentanspruch. Stuttgart.

Robert Bosch GmbH. (2019b). *Unternehmensinterne Mediathek*.

Glossar

Begriff	Definition
Agilität	Agilität ist „die Fähigkeit eines Handlungssystems, die Gültigkeit eines Projektplans hinsichtlich der Planungsstabilität der Elemente im ZHO-Triple kontinuierlich zu überprüfen, zu hinterfragen und bei Vorliegen einer ungeplanten Informationskonstellation eine situations- und bedarfsgerechte Anpassung der Sequenz aus Synthese- und Analyseaktivitäten umzusetzen, wodurch der Kunden-, Anwender- und Anbieternutzen zielgerichtet erhöht werden.“ (Albers, Heimicke & Spadinger, 2019) (Kap. 2.1.2.3)
Aktivität	„Eine Aktivität im Sinne des iPeM [...] eine frei von Iterationen, entlang der unterschiedlichen Phasen des [Produktentstehungsprozesses], in unterschiedlicher Ausprägung wiederkehrende Handlung, welche zur Überführung eines Zielsystems in ein Objektsystem beiträgt.“ (Reiß, 2018, S. 23) (Kap. 2.1.2.2)
Aktivitätenmuster	Mit Hilfe von Aktivitätsmustern werden Aktivitäten der Produktentstehung dargestellt, die mit der gleichen Anzahl, Art und Abfolge im Phasenmodell wiederkehrend auftreten (Peglow et al., 2019) (Kap. 2.1.2.2)
Analyse	Analyse ist eine „Handlung, die das Verstehen eines existierenden Systems bezweckt. Das Resultat einer Analyse ist Erkenntnis.“ (Lohmeyer, 2013, S. 108) (Kap. 2.1.1.3)
Anforderung	„Eine Anforderung ist eine durch einen Wert oder einen Wertebereich festgelegte Beschreibung eines einzelnen Produktmerkmals. Eine Anforderung kann ein Ziel nicht ersetzen, sondern lediglich konkretisierend beschreiben.“ (Lohmeyer, 2013, S. 61) (Kap. 2.1.1.2)
Angebotsphase	Die Angebotsphase ist in der automobilen Zulieferindustrie eine spezifische Frühe Phase der PGE – Produktgenerationsentwicklung, die mit der Angebotsanfrage seitens des Kunden beginnt und mit der Angebotsabgabe seitens des Anbieters endet. Das Produktprofil der Gn kann infolge von vorangehendem Wissensaustausch bereits zum Zeitpunkt der Angebotsanfrage definiert sein. (Albers, Peglow et al., 2019) (Kap. 2.3.1.3)
Basis-Referenzprodukt	„Das Basis-Referenzprodukt ist das Referenzprodukt einer [Produktgeneration], von der die überwiegende Anzahl an Teilsystemen aus Ziel- und Objektsystem sowie Strukturelementen (z.B. Funktions-, Baustruktur) übernommen oder diese als Grundlage für Variationen verwendet werden.“ (Peglow et al., 2017) Diese Teilsysteme und Strukturelemente des Basis-Referenzprodukts sind Elemente des Referenzsystems der Produktgeneration. (Albers, Rapp, Spadinger, Richter, Birk, Marthaler, Heimicke, Kurtz & Wesels, 2019a) (Kap. 2.2.2.1)
Bewertung	Bewertung sind Aktivitäten der Produktentstehung zur Überprüfung der Konsistenz des Zielsystems einer Gn hinsichtlich der Elemente

	des Referenzsystems der Gn aus Sicht der Stakeholder. Die Bewertung kann subjektiv auf Basis persönlicher Empfindungen oder objektiv mit Hilfe von Zahlenwerten erfolgen. (Albers, Matros et al., 2015) (Kap. 2.3.1.2)
Frühe Phase (auf Basis des Modells der PGE – Produktgenerationsentwicklung)	„Die „Frühe Phase“ der Produktgenerationsentwicklung ist eine Phase im Entwicklungsprozess einer neuen Produktgeneration, die mit der Initiierung eines Projektes beginnt und mit einer bewerteten technischen Lösung endet, die schließlich das initiale Zielsystem hinsichtlich seiner wesentlichen Elemente abdeckt. Die zur technischen Lösung gehörende Produktspezifikation als Teil des Zielsystems enthält u.a. Informationen bzgl. der verwendeten Technologien und Subsysteme sowie deren Übernahme- und Neuentwicklungsanteile. Sie ermöglicht eine valide Bewertung des zu entwickelnden technischen Systems hinsichtlich der relevanten Parameter wie beispielsweise der Produzierbarkeit, der notwendigen Ressourcen oder des technischen und ökonomischen Risikos.“ (Albers, Rapp et al., 2017; Bursac, 2016, S. 45) (Kap. 2.3.1.2)
Gestaltvariation	Subsysteme werden als Elemente des Referenzsystems mit neu entwickelter Gestalt und im Wesentlichen unverändertem Lösungsprinzip in das Objektsystem der Produktgeneration aufgenommen. Gestaltvariation ist die häufigste Aktivität der Produktentwicklung (Albers, Bursac et al., 2015) (Kap. 2.1.3.3)
Handlungssystem	„Das Handlungssystem ist ein sozio-technisches System, das aus strukturierten Aktivitäten, Methoden und Prozessen aufgebaut ist. Es enthält weiterhin alle für die Realisierung einer Produktentstehung notwendigen Ressourcen (Entwickler, Budget, Ausstattung etc.). Das Handlungssystem erstellt sowohl das Ziel- als auch das Objektsystem, beide Systeme sind durch das Handlungssystem miteinander verbunden.“ (Albers & Braun, 2011; Lohmeyer, 2013, S. 24) (Kap. 2.1.1.2)
Innovation	Ein Produkt ist eine Innovation, wenn im Innovationsprozess das richtige Produktprofil (Kunden-, Anwender- und Anbieternutzen) identifiziert wird, dieses technisch überzeugend und umsetzbar ist (Invention) sowie einer erfolgreichen Markteinführung unterliegt. Innovationen können dabei durch externe und interne Einflüsse (z.B. Forschung, Markt, Mitarbeiter) initiiert werden. (Albers, Heimicke, Hirschter et al., 2018) (Kap. 2.1.3.1)
IST-Prozess	Der tatsächliche Prozess der neuen Produktgeneration eines spezifischen Projekts (Albers, 2010; Wilmsen et al., 2019) (Kap. 2.1.2.2)
Lastenheft	Ein Lastenheft ist eine „vom Auftraggeber festgelegte Gesamtheit der Forderungen an die Lieferungen und Leistungen eines Auftragnehmers innerhalb eines (Projekt-)Auftrags“ (DIN 69901-5) (Kap. 2.3.2.1)
Lenkungsausschuss	Ein Lenkungsausschuss ist ein „übergeordnetes Gremium, an das der Projektleiter berichtet und das ihm als Entscheidungs- und Eskalationsgremium zur Verfügung steht“ (DIN 69901-5, 2009) (Kap. 2.3.2.1)
Lösungsraum	„Der Lösungsraum entspricht dem subjektiven Verständnis der Menge aller zulässigen Lösungen zu einem Problem und richtet so

	die mentale, virtuelle und physische Modellierung von Objekten aus.“ (Lohmeyer, 2013, S. 174) (Kap. 2.1.1.3)
Management	Management ist „das Erreichen bestimmter Ziele durch Personen, das Sicherstellen von günstigen Rahmenbedingungen und Strukturen im Rahmen von gegebenen Verhältnissen zur Beschaffung und Steuerung des Einsatzes von Ressourcen“ (Keßler & Winkelhofer, 2002, S. 10) (Kap. 2.3.2.1)
Modell	Modelle sind „stets Modelle von etwas, nämlich Abbildungen, Repräsentationen natürlicher oder künstlicher Originale“ (Stachowiak, 1973, S. 131), die „im allgemeinen nicht alle Attribute [des] repräsentierten Originals“ (Stachowiak, 1973, S. 132) umfassen und die für jemanden, für einen bestimmten Zweck sowie für ein bestimmtes Zeitintervall bestehen. (Stachowiak, 1973, S. 131–133) (Kap. 2.1.1.1)
Neuentwicklung	Eine Neuentwicklung ist auf Basis des Modells der PGE- Produktgenerationsentwicklung zusammengesetzt aus den Variationsarten <i>Gestaltvariation</i> und <i>Prinzipvariation</i> (Albers, Bursac et al., 2015; Albers, Bursac et al., 2017) (Kap. 2.1.3.3)
Objektivierung	Objektivierung ist die Überprüfung, „inwieweit Elemente des Zielsystems die Erwartungen der Stakeholder objektiv wiedergeben, andererseits werden Potentiale zur Erhöhung der Objektivität des Zielsystems identifiziert. Je objektiver die Ziele festgeschrieben sind, desto klarer ist die Ausgangslage für die Transformation in Objekte und desto besser können entstandene Objekte in Bezug auf das Zielsystem verifiziert werden. Wichtiger Bestandteil der Objektivierung ist damit die Ermittlung von Zusammenhängen zwischen quantitativen Größen (Analysekriterien) und Empfindungen (Bewertungskriterien) aus Stakeholder-Sicht.“ (Albers, Matros et al., 2015) (Kap. 2.1.1.3)
Objektsystem	„Das Objektsystem enthält alle Dokumente und Artefakte, die als Teillösungen während des Entstehungsprozesses anfallen. Es ist vollständig, sobald der geplante Zielzustand erreicht ist. Das eigentliche Produkt ist neben Zwischenprodukten (z.B. Zeichnungen oder Prototypen) eines der Elemente des Objektsystems. Das Handlungssystem nimmt während des Produktentstehungsprozesses ständig Teile des Objektsystems auf und leitet daraus durch Schritte der Analyse und Synthese neue Ziele ab. Endergebnis eines Produktentstehungsprozesses ist neben dem eigentlichen Produkt auch die Summe aller Zwischenergebnisse im Objektsystem, das vollständige Zielsystem und nicht zuletzt das gesammelte Erfahrungswissen im Handlungssystem aus der Durchführung und Reflexion des Prozesses.“ (Albers & Braun, 2011; Ebel, 2014, S. 17–18) (Kap. 2.1.1.2)
Pflichtenheft	Ein Pflichtenheft ist „vom Auftragnehmer erarbeitete Realisierungsvorhaben auf Basis des vom Auftraggeber vorgegebenen Lastenheftes“ (DIN 69901-5, 2009) (Kap. 2.3.2.1)
PGE – Produktgenerationsentwicklung	„Die Produktgenerationsentwicklung ist die Entwicklung einer neuen Generation eines technischen Produkts, die sowohl durch die Anpassung von Teilsystemen als Übernahmevariation als auch durch

eine signifikante Neuentwicklung von Teilsystemen charakterisiert ist. Neue entwickelte Anteile technischer Produkte können durch Gestalt- und Prinzipvariation realisiert werden. Jede Produktgeneration basiert auf genau einem Referenzsystem. Referenzprodukte als Elemente des Referenzsystems beschreiben die grundsätzliche Struktur neuer Produktgenerationen. Zwischen parallel entwickelten Produkten und Referenzsystemen kann es ebenfalls Wechselbeziehungen und Abhängigkeiten geben.“ (Albers, Bursac et al., 2015; Albers, Rapp, Spadinger, Richter, Birk, Marthaler, Heimicke, Kurtz & Wessels, 2019a) (Kap. 2.1.3.3)

Phasenmodell	Das Phasenmodell ist das einzige Subsystem des Handlungssystems, mit dem die zeitliche Abhängigkeit der Aktivitäten der Produktentstehung abbildbar sind. Durch die Modellierung der Aktivitäten der Produktentstehung in Abhängigkeit der Zeit werden mögliche Iterationen des Produktentstehungsprozesses und die Einzigartigkeit des Prozesses verdeutlicht. (Albers, 2010; Albers & Braun, 2011) (Kap. 2.1.2.2)
Prinzipvariation	Subsysteme werden als Elemente des Referenzsystems mit neu entwickeltem Lösungsprinzip in das Objektsystem der Produktgeneration aufgenommen. Jede Prinzipvariation impliziert eine Gestaltvariation, da mit einem neuen Lösungsprinzip im Allgemeinen eine neue Gestalt entwickelt wird (Albers, Bursac et al., 2015; Albers, Bursac et al., 2017) (Kap. 2.1.3.3)
Produktentstehung	Die Produktentstehung ist ein „Teil des Produktlebenszyklus, der die Phasen Produktplanung, Produktentwicklung und Produktionseinführung umfasst“ (VDI 2221-1, 2018) (Kap. 2.1.2.1)
Produktentwicklung	Die Produktentwicklung ist ein „interdisziplinärer Unternehmensprozess zur Entwicklung eines marktfähigen Produkts, basierend auf der Definition initialer Ziele und Anforderungen an das Produkt, welche im Lauf des Prozesses kontinuierlich weiterentwickelt und iterativ angepasst werden“ (VDI 2221-1, 2018) (Kap. 2.1.2.1)
Produktprofil	„Ein Produktprofil ist ein Modell eines Nutzenbündels, das den angestrebten Anbieter-, Kunden- und Anwendernutzen für die Validierung zugänglich macht und den Lösungsraum für die Gestaltung einer Produktgeneration explizit vorgibt. Ein Nutzenbündel wird als eine Gesamtheit aus Produkten und Dienstleistungen verstanden, welches mit dem Zweck erstellt wird, an einen Kunden verkauft zu werden und für ihn direkt oder indirekt – z.B. für von ihm berücksichtigte Anwender oder für seine Kunden – Nutzen zu stiften.“ (Albers, Heimicke, Walter et al., 2018) (Kap. 2.3.1.2)
Projekt	Ein Projekt ist ein „Vorhaben, das im Wesentlichen durch Einmaligkeit der Bedingungen in ihrer Gesamtheit gekennzeichnet ist“ (DIN 69901-5, 2009) (Kap. 2.3.2.1)
Projektmanagement	Projektmanagement sind die „Gesamtheit von Führungsaufgaben, -organisation, -techniken und -mitteln für die Initiierung, Definition, Planung, Steuerung und den Abschluss von Projekten“ (DIN 69901-5, 2009) (Kap. 2.3.2.1)
Projektteam	Ein Projektteam umfasst „alle Personen, die einem Projekt zugeordnet sind und zur Erreichung des Projektzieles Verantwortung für

	eine oder mehrere Aufgaben übernehmen“ (DIN 69901-5, 2009) (Kap. 2.3.2.1)
Randbedingung	„Eine Randbedingung ist eine aus dem Umfeld der Entwicklung resultierende Einschränkung, die von anderen verantwortet wird und daher zwar ermittelt, aber nicht eigenständig definiert oder geändert werden kann.“ (Lohmeyer, 2013, S. 61) (Kap. 2.1.1.2)
Referenzprodukt	„Referenzprodukte sind bestehende Produkte (z.B. Vorgänger- oder Wettbewerbsprodukte), auf deren Basis neue Produktgenerationen entwickelt werden. Dazu werden teilweise deren Struktur und Teilsysteme übernommen oder als Ausgangspunkt für Variationen zugrunde gelegt.“ (Albers, Bursac et al., 2017) (Kap. 2.1.3.2)
Referenzprozess	Abbildung eines auf Erfahrungswissen basierenden, unternehmensspezifischen und generischen Prozesses von zum Beispiel einer Vorgängergeneration (Albers, 2010; Wilmsen et al., 2019) (Kap. 2.1.2.2)
Referenzsystem	„Das Referenzsystem für die Entwicklung einer neuen Produktgeneration ist ein System, dessen Elemente bereits existierenden oder bereits geplanten sozio-technischen Systemen und der zugehörigen Dokumentation entstammen und Grundlage und Ausgangspunkt der Entwicklung der neuen Produktgeneration sind.“ (Albers, Rapp, Spadinger, Richter, Birk, Marthaler, Heimicke, Kurtz & Wessels, 2019a) (Kap. 2.1.3.3)
Ressourcensystem	Das Ressourcensystem ist ein Subsystem des Handlungssystems, das unter anderem die personellen, maschinellen, finanziellen und informatorischen Ressourcen einer Organisation oder eines Projekts umfasst. Innerhalb des Ressourcensystems wird entschieden, wer welche Aktivität der Produktentstehung und mit welcher Problemlösungsmethode verantwortet, um ein spezifisches Anwendungsmodell zu realisieren. (Albers, 2010) (Kap. 2.1.2.2)
SOLL-Prozess	Der geplante Prozess zur initialen Planung von beispielsweise Kosten, Aktivitäten und Ressourcen der neuen Produktgeneration eines spezifischen Projekts (Albers, 2010; Wilmsen et al., 2019) (Kap. 2.1.2.2)
Stakeholder	Stakeholder sind die „Gesamtheit aller Projektteilnehmer, -betroffenen und -interessierten [darstellen], deren Interessen durch den Verlauf oder das Ergebnis des Projekts direkt oder indirekt berührt sind“ (DIN 69901-5, 2009) (Kap. 2.3.2.1)
Synthese	Synthese ist eine „Handlung, die das Erschaffen eines bis dato noch nicht existierenden Systems bezweckt. Das Resultat einer Synthese ist ein Ziel oder ein Objekt.“ (Lohmeyer, 2013, S. 108) (Kap. 2.1.1.3)
System	„Ein System ist das Modell einer Ganzheit, die a) Beziehungen zwischen Attributen (Inputs, Outputs, Zustände etc.) aufweist, die b) aus miteinander verknüpften Teilen bzw. Subsystemen besteht, und die c) von ihrer Umgebung bzw. von einem Supersystem abgegrenzt wird.“ (Ropohl, 2009, S. 77) (Kap. 2.1.1.1)
System-of-Systems	Ein System-of-Systems ist eine Menge an Subsystemen, die wiederum als Systeme operativ und betriebswirtschaftlich unabhängig voneinander existieren können. Die Subsysteme können individuell erworben werden und erfüllen innerhalb des Gesamtsystems sowie

	als alleinstehendes System einen individuellen Zweck. (Maier, 1998) (Kap. 2.1.1.1)
Übernahmevariation	Subsysteme werden als Elemente des Referenzsystems mit gleichbleibender Gestalt und unverändertem Lösungsprinzip in das Objektsystem der Produktgeneration aufgenommen, wobei es gegebenenfalls zu Anpassungen an den Schnittstellen zu neu entwickelten Subsystemen kommen kann. Folglich ist der Konstruktionsumfang aufgrund der Anpassungen minimal (Albers, Bursac et al., 2015) (Kap. 2.1.3.3)
Validierung	Die Validität eines Systems kann nur durch alle drei Teilaktivitäten <i>Bewertung</i> , <i>Objektivierung</i> und <i>Verifizierung</i> sichergestellt werden. (Albers, Behrendt et al., 2016) (Kap. 2.1.1.3)
Variante	„Eine Variante ist eine [Produktgeneration], die einen hohen [Übernahmevariations]-Anteil zu ihrem Varianten-Referenzprodukt aufweist. Diese unterliegen demselben Produktgenerationszyklus und existieren weitgehend parallel am Markt. Das Varianten-Referenzprodukt ist somit eine spezielle Form des Basis-Referenzprodukts. Die Variante ist zu ihrem Varianten-Referenzprodukt durch eine differente Ausprägung der charakterisierenden Merkmale abgegrenzt, um individuellen Kunden- und Marktanforderungen gerecht zu werden sowie um Wettbewerbsvorteile zu generieren. Im Gegensatz zu Varianten hat jede [Produktgeneration] vorwiegend das Ziel, einen existierenden Produktgenerationszyklus am Markt abzulösen und einen neuen Zyklus aufzuspannen.“ (Peglow et al., 2017) (Kap. 2.2.2.1)
Variantenmanagement	„Variantenmanagement umfasst die Entwicklung, Gestaltung und Strukturierung von Produkten und Dienstleistungen bzw. Produktsortimenten im Unternehmen. Dadurch wird angestrebt, die vom Produkt ausgehende Komplexität (Anzahl Teile, Komponenten, Varianten usw.) wie auch die auf das Produkt einwirkende Komplexität (Marktdiversifikation, Produktionsabläufe usw.) mittels geeigneter Instrumente zu bewältigen.“ (Schuh & Riesener, 2018, S. 16) (Kap. 2.2.2.1)
Variantenvielfalt	Variantenvielfalt steht für „die Anzahl und den Grad der Unterschiedlichkeit der in einer durch verschiedene Eigenschaften charakterisierten Produktart enthaltenen Produktvarianten.“ (Buchholz & Souren, 2008, S. 14) (Kap. 2.2.2.1)
Verifikation	Verifikation ist der „Vergleich von Elementen des Objektsystems mit Elementen des Zielsystems [...], mit dem Ziel, deren Konformität zu beurteilen.“ (Albers, Mandel et al., 2018; Albers, Matros et al., 2015) (Kap. 2.1.1.3)
Wissensbasis	„Wissensbasis bezeichnet die Menge an Domänenwissen und fallspezifischem [personengebundenem] Wissen, welches innerhalb des Handlungssystems eines bestimmten Produktentstehungsprozesses bereitsteht.“ (Lohmeyer, 2013, S. 174) (Kap. 2.1.1.3)
Ziel	„Ein Ziel ist die bewusste gedankliche Vorwegnahme eines zukünftigen Soll-Zustands, der gemeinsam vereinbart und durch aktives Handeln angestrebt oder vermieden wird. Ziele begründen die Funktion und die Gestalt von Objekten.“ (Lohmeyer, 2013, S. 61) (Kap. 2.1.1.2)

Zielsystem „Ein Zielsystem beinhaltet alle expliziten Ziele eines zu entwickelnden Produktes, einschließlich derer Anforderungen, Randbedingungen und Wechselwirkungen zwischen diesen Elementen, innerhalb eines definierten Interessenbereichs (d.h. innerhalb eines System-of-Interest) zu einem bestimmten Zeitpunkt.“ (Albers & Braun, 2011; Lohmeyer, 2013, S. 65) (Kap. 2.1.1.2)

Anhang

Fragebogenstudie: Umgang mit Variantenvielfalt der CP4

Liebe Kollegen,

im Auftrag des technischen Leiters und des Bereichsleiters des internationalen Produktionsnetzwerks für Common-Rail Pumpen beschäftige ich mich als Doktorandin mit dem Thema *Umgang mit Variantenvielfalt der Common-Rail Pumpen*. Alle Mitarbeiter, die von der Variantenvielfalt der CP4 betroffen sind, erhalten den Fragebogen mit der Bitte diesen wahrheitsgetreu und sorgfältig auszufüllen.

Dauer: ca. 5 Minuten
 Abgabefrist: 31.12.2016 per Hauspost an Fr. Peglow
 Ziel: Identifizierung des Bedarfs im Umgang mit Variantenvielfalt der Common- Rail Pumpen
 Verwendung: Die Ergebnisse werden vertraulich behandelt und dienen ausschließlich der wissenschaftlichen Analyse und zur Verbesserung von internen Prozessen.

Danke vorab.
 Mit freundlichen Grüßen,
 Natalie Peglow

1 Allgemeine Angaben							
1.a	Sind Sie Bereichsleiter & höher?		Ja		Nein		
			Produktentwicklung		Fertigung		
1.b	Sofern Sie kein Bereichsleiter & höher sind: Welchem Fachbereich ist ihre derzeitige Tätigkeitsbeschreibung zugeordnet? (eine Antwort möglich)		Einkauf		Produktmanagement		
			Logistik		Vertrieb		
			Controlling		Qualitätsmanagement		
					Sonstige		
2 Ursachen für Variantenvielfalt							
2.a	Was sind die Ursachen für die Variantenvielfalt der CP4? (mehrere Antworten möglich)		Kundenanforderungen		Qualitätsanforderungen an das Produktdesign		
			Marktanforderungen		Qualitätsanforderungen an die Fertigungsprozesse		
			Kostenanforderungen		Sonstige		
3 Komplexität bei der CP4							
3.a	In welcher Form zeigt sich die Komplexität im Umgang mit Variantenvielfalt der CP4? (mehrere Antworten möglich)						
4 Herausforderungen im Umgang mit Variantenvielfalt							
4.a	Was sind die Herausforderungen bei der Entscheidung über die Einführung einer neuen CP4-Variante? (mehrere Antworten möglich)		Kein eindeutig definierter Bewertungsprozess		Wirtschaftliche Situation		
			Große Anzahl an involvierten Mitarbeitern und internationale Verteilung der Organisation		Nichte einheitliche Fertigungskonzepte		
			Keine einheitliche Bewertungsmethode für neue CP4-Varianten		Die bisher gelebte Unternehmensstrategie		
			Intransparente und nicht durchgängige Kommunikation		Sonstige		
5 Fachwissen der Teilnehmer							
		trifft völlig zu	trifft zu	teils/ teils	trifft nicht zu	trifft gar nicht zu	keine Angabe
5.a	Wird das Fachwissen aus Ihrem Fachbereich bei der Entscheidung über die Einführung einer neuen CP4-Variante berücksichtigt?						
5.b	Halten Sie es für zweckmäßig, dass das Fachwissen aus Ihrem Fachbereich mehr bei der Entscheidung über die Einführung einer neuen CP4-Variante berücksichtigt wird?						
6 Transparenz der Bewertung							
		trifft völlig zu	trifft zu	teils/ teils	trifft nicht zu	trifft gar nicht zu	keine Angabe
6.a	Wie beurteilen Sie die Transparenz des Bewertungsprozesses in der Angebotsphase von Varianten?						
6.b	Wie beurteilen Sie die Transparenz der Bewertungsmethode in der Angebotsphase von Varianten?						
7 Bemerkungen zur Fragebogenstudie							
7.a	Vorschläge für einen zweckmäßigen Umgang mit Variantenvielfalt der CP4						

Paarweise Vergleiche für die Gewichtungen der CP4

Gewichtungen der Bewertungselemente (ai)

		i=1	i=2	i=3	i=4	i=5	ΣSi			i=1	i=2	i=3	i=4	i=5	ΣZj	ai
Experte0	i=1	1	1/3	1/5	1/5	1/5	19	Experte0	i=1	0,05	0,04	0,02	0,07	0,07	0,26	5,1%
	i=2	3	1	1	1/3	1/3	8 1/3		i=2	0,16	0,12	0,12	0,12	0,12	0,63	12,6%
	i=3	5	1	1	1/3	1/3	8 1/5		i=3	0,26	0,12	0,12	0,12	0,12	0,74	14,8%
	i=4	5	3	3	1	1	2 7/8		i=4	0,26	0,36	0,37	0,35	0,35	1,69	33,7%
	i=5	5	3	3	1	1	2 7/8		i=5	0,26	0,36	0,37	0,35	0,35	1,69	33,7%
Experte11	i=1	1	5	5	5	5	1 4/5	Experte11	i=1	0,56	0,65	0,41	0,60	0,38	2,60	52,0%
	i=2	1/5	1	3	1	3	7 2/3		i=2	0,11	0,13	0,24	0,12	0,23	0,84	16,7%
	i=3	1/5	1/3	1	1/3	3	12 1/3		i=3	0,11	0,04	0,08	0,04	0,23	0,51	10,1%
	i=4	1/5	1	3	1	1	8 1/3		i=4	0,11	0,13	0,24	0,12	0,08	0,68	13,6%
	i=5	1/5	1/3	1/3	1	1	13		i=5	0,11	0,04	0,03	0,12	0,08	0,38	7,6%
Experte13	i=1	1	1	5	1	3	3 1/2	Experte13	i=1	0,28	0,28	0,24	0,28	0,29	1,38	27,6%
	i=2	1	1	5	1	3	3 1/2		i=2	0,28	0,28	0,24	0,28	0,29	1,38	27,6%
	i=3	1/5	1/5	1	1/5	1/5	21		i=3	0,06	0,06	0,05	0,06	0,02	0,24	4,7%
	i=4	1	1	5	1	3	3 1/2		i=4	0,28	0,28	0,24	0,28	0,29	1,38	27,6%
	i=5	1/3	1/3	5	1/3	1	10 1/5		i=5	0,09	0,09	0,24	0,09	0,10	0,62	12,4%
Experte22	i=1	1	1/3	3	1	3	5 2/3	Experte22	i=1	0,18	0,09	0,43	0,20	0,33	1,23	24,6%
	i=2	3	1	1	1	3	3 2/3		i=2	0,53	0,27	0,14	0,20	0,33	1,48	29,6%
	i=3	1/3	1	1	1	1	7		i=3	0,06	0,27	0,14	0,20	0,11	0,79	15,7%
	i=4	1	1	1	1	1	5		i=4	0,18	0,27	0,14	0,20	0,11	0,90	18,1%
	i=5	1/3	1/3	1	1	1	9		i=5	0,06	0,09	0,14	0,20	0,11	0,60	12,1%
Experte25	i=1	1	5	5	5	5	1 4/5	Experte25	i=1	0,56	0,65	0,56	0,45	0,45	2,67	53,4%
	i=2	1/5	1	1	3	3	7 2/3		i=2	0,11	0,13	0,11	0,27	0,27	0,90	18,0%
	i=3	1/5	1	1	1	1	9		i=3	0,11	0,13	0,11	0,09	0,09	0,53	10,7%
	i=4	1/5	1/3	1	1	1	11		i=4	0,11	0,04	0,11	0,09	0,09	0,45	9,0%
	i=5	1/5	1/3	1	1	1	11		i=5	0,11	0,04	0,11	0,09	0,09	0,45	9,0%
Experte27	i=1	1	3	5	1/3	1	5 1/2	Experte27	i=1	0,18	0,29	0,33	0,14	0,18	1,12	22,5%
	i=2	1/3	1	3	1/3	1/3	10 1/3		i=2	0,06	0,10	0,20	0,14	0,06	0,56	11,2%
	i=3	1/5	1/3	1	1/3	1/3	15		i=3	0,04	0,03	0,07	0,14	0,06	0,34	6,7%
	i=4	3	3	3	1	3	2 1/3		i=4	0,54	0,29	0,20	0,43	0,53	1,99	39,8%
	i=5	1	3	3	1/3	1	5 2/3		i=5	0,18	0,29	0,20	0,14	0,18	0,99	19,8%
Experte31	i=1	1	3	1/5	1/5	1/5	16 1/3	Experte31	i=1	0,06	0,53	0,04	0,03	0,02	0,68	13,7%
	i=2	1/3	1	1/3	1/3	1/3	13		i=2	0,02	0,18	0,56	0,48	0,12	1,36	27,2%
	i=3	5	3	1	1	1	3 1/2		i=3	0,31	0,06	0,19	0,16	0,61	1,32	26,4%
	i=4	5	3	1	1	1	3 1/2		i=4	0,31	0,06	0,19	0,16	0,12	0,83	16,7%
	i=5	5	3	1	1	1	3 1/2		i=5	0,31	0,18	0,04	0,16	0,12	0,80	16,1%
Experte32	i=1	1	1/3	1	1/5	1/3	13	Experte32	i=1	0,08	0,05	0,11	0,07	0,05	0,37	7,4%
	i=2	3	1	1	1	1/3	6 1/3		i=2	0,17	0,16	0,11	0,37	0,05	0,85	17,0%
	i=3	1	1	1	1/3	1/3	9		i=3	0,08	0,16	0,11	0,12	0,05	0,52	10,4%
	i=4	5	1	3	1	5	2 3/4		i=4	0,42	0,16	0,33	0,37	0,71	1,99	39,8%
	i=5	3	3	3	1/5	1	7		i=5	0,25	0,47	0,33	0,07	0,14	1,27	25,5%
Experte39	i=1	1	3	3	1	3	3	Experte39	i=1	0,33	0,53	0,23	0,28	0,24	1,62	32,4%
	i=2	1/3	1	3	1	3	5 2/3		i=2	0,11	0,18	0,23	0,28	0,24	1,04	20,9%
	i=3	1/3	1/3	1	1/3	1/3	13		i=3	0,11	0,06	0,08	0,09	0,03	0,37	7,4%
	i=4	1	1	3	1	5	3 1/2		i=4	0,33	0,18	0,23	0,28	0,41	1,43	28,6%
	i=5	1/3	1/3	3	1/5	1	12 1/3		i=5	0,11	0,06	0,23	0,06	0,08	0,54	10,8%
Experte40	i=1	1	3	3	3	3	2 1/3	Experte40	i=1	0,43	0,43	0,43	0,43	0,43	2,14	42,9%
	i=2	1/3	1	1	1	1	7		i=2	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,71	14,3%
	i=3	1/3	1	1	1	1	7		i=3	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,71	14,3%
	i=4	1/3	1	1	1	1	7		i=4	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,71	14,3%
	i=5	1/3	1	1	1	1	7		i=5	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,71	14,3%
Experte45	i=1	1	3	3	3	3	2 1/3	Experte45	i=1	0,43	0,43	0,43	0,43	0,43	2,14	42,9%
	i=2	1/3	1	1	1	1	7		i=2	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,71	14,3%
	i=3	1/3	1	1	1	1	7		i=3	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,71	14,3%
	i=4	1/3	1	1	1	1	7		i=4	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,71	14,3%
	i=5	1/3	1	1	1	1	7		i=5	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,71	14,3%

Gewichtungen der Bewertungskriterien für das Bewertungselement *Produktstrategie* (i=1) (c_{1j})

		i=1	j=2	j=3	j=4	j=5	ΣS _{1j}			i=1	j=2	j=3	j=4	j=5	ΣZ _{1j}	c _{1j}
Experte45	i=1	1	1/3	3	1/3	1	8 1/3	Experte45	i=1	0,12	0,09	0,23	0,09	0,23	0,76	15,3%
	j=2	3	1	3	1	1	3 2/3		i=2	0,36	0,27	0,23	0,27	0,23	1,37	27,3%
	j=3	1/3	1/3	1	1/3	1/3	13		i=3	0,04	0,09	0,08	0,09	0,08	0,38	7,5%
	j=4	3	1	3	1	1	3 2/3		i=4	0,36	0,27	0,23	0,27	0,23	1,37	27,3%
	j=5	1	1	3	1	1	4 1/3		i=5	0,12	0,27	0,23	0,27	0,23	1,13	22,5%
Experte46	i=1	1	1/3	3	1	1/3	8 1/3	Experte46	i=1	0,12	0,09	0,20	0,23	0,09	0,74	14,7%
	j=2	3	1	3	1	1	3 2/3		i=2	0,36	0,27	0,20	0,23	0,28	1,35	26,9%
	j=3	1/3	1/3	1	1/3	1/5	15		i=3	0,04	0,09	0,07	0,08	0,06	0,33	6,6%
	j=4	1	1	3	1	1	4 1/3		i=4	0,12	0,27	0,20	0,23	0,28	1,11	22,1%
	j=5	3	1	5	1	1	3 1/2		i=5	0,36	0,27	0,33	0,23	0,28	1,48	29,6%
Experte47	i=1	1	3	5	1	3	2 7/8	Experte47	i=1	0,35	0,54	0,29	0,16	0,39	1,73	34,7%
	j=2	1/3	1	5	1	3	5 1/2		i=2	0,12	0,18	0,29	0,16	0,39	1,14	22,8%
	j=3	1/5	0,2	1	1/3	1/3	17		i=3	0,07	0,04	0,06	0,05	0,04	0,26	5,2%
	j=4	1	1	3	1	1/3	6 1/3		i=4	0,35	0,18	0,18	0,16	0,04	0,91	18,1%
	j=5	1/3	1/3	3	3	1	7 2/3		i=5	0,12	0,06	0,18	0,47	0,13	0,96	19,1%

Gewichtungen der Bewertungskriterien für das Bewertungselement *Produkt-design* (i=2) (c_{2j})

		i=1	j=2	j=3	j=4	j=5	ΣS _{2j}			i=1	j=2	j=3	j=4	j=5	ΣZ _{2j}	c _{2j}
Experte9	i=1	1	1/5	1/5	1/5	1/5	21	Experte9	i=1	0,05	0,03	0,09	0,04	0,02	0,23	4,6%
	j=2	5	1	1/3	1	1	6 1/5		i=2	0,24	0,16	0,15	0,18	0,12	0,85	17,1%
	j=3	5	3	1	3	3	2 1/5		i=3	0,24	0,48	0,45	0,54	0,37	2,08	41,7%
	j=4	5	1	1/3	1	3	5 1/2		i=4	0,24	0,16	0,15	0,18	0,37	1,10	21,9%
	j=5	5	1	1/3	1/3	1	8 1/5		i=5	0,24	0,16	0,15	0,06	0,12	0,73	14,7%
Experte11	i=1	1	1/3	3	1/3	1/3	10 1/3	Experte11	i=1	0,10	0,08	0,53	0,05	0,05	0,81	16,2%
	j=2	3	1	1	1	1	4 1/3		i=2	0,29	0,23	0,18	0,16	0,16	1,01	20,3%
	j=3	1/3	1	1	3	3	5 2/3		i=3	0,03	0,23	0,18	0,47	0,47	1,39	27,7%
	j=4	3	1	1/3	1	1	6 1/3		i=4	0,29	0,23	0,06	0,16	0,16	0,90	17,9%
	j=5	3	1	1/3	1	1	6 1/3		i=5	0,29	0,23	0,06	0,16	0,16	0,90	17,9%
Experte13	i=1	1	1/3	1/5	1/5	1/5	19	Experte13	i=1	0,05	0,08	0,06	0,05	0,03	0,27	5,3%
	j=2	3	1	1	1	1	4 1/3		i=2	0,16	0,23	0,28	0,24	0,16	1,07	21,4%
	j=3	5	1	1	1	3	3 1/2		i=3	0,26	0,23	0,28	0,24	0,48	1,50	30,0%
	j=4	5	1	1	1	1	4 1/5		i=4	0,26	0,23	0,28	0,24	0,16	1,18	23,5%
	j=5	5	1	1/3	1	1	6 1/5		i=5	0,26	0,23	0,09	0,24	0,16	0,99	19,8%
Experte15	i=1	1	1/3	1/3	1/3	1/3	13	Experte15	i=1	0,08	0,04	0,14	0,07	0,03	0,36	7,2%
	j=2	3	1	1/3	1/3	3	7 2/3		i=2	0,23	0,13	0,14	0,07	0,29	0,86	17,2%
	j=3	3	3	1	3	3	2 1/3		i=3	0,23	0,39	0,43	0,60	0,29	1,94	38,8%
	j=4	3	3	1/3	1	3	5		i=4	0,23	0,39	0,14	0,20	0,29	1,26	25,1%
	j=5	3	1/3	1/3	1/3	1	10 1/3		i=5	0,23	0,04	0,14	0,07	0,10	0,58	11,6%
Experte16	i=1	1	1/3	1/5	1/5	1/3	17	Experte16	i=1	0,06	0,05	0,09	0,03	0,05	0,29	5,7%
	j=2	3	1	1/3	1	1	6 1/3		i=2	0,18	0,16	0,15	0,16	0,16	0,81	16,1%
	j=3	5	3	1	3	3	2 1/5		i=3	0,29	0,47	0,45	0,48	0,47	2,18	43,6%
	j=4	5	1	1/3	1	1	6 1/5		i=4	0,29	0,16	0,15	0,16	0,16	0,92	18,5%
	j=5	3	1	1/3	1	1	6 1/3		i=5	0,18	0,16	0,15	0,16	0,16	0,81	16,1%

Gewichtungen der Bewertungskriterien für das Bewertungselement *Erprobungskonzept* (i=3) (c_{3j})

		j=1	j=2	j=3	j=4	j=5	ΣS _{3j}			j=1	j=2	j=3	j=4	j=5	ΣZ _{3j}	c _{3j}
Experte22	i=1	1	5	1	3	3	2 7/8	Experte22	i=1	0,35	0,48	0,33	0,36	0,23	1,76	35,1%
	j=2	1/5	1	1/3	1	3	10 1/3		j=2	0,07	0,10	0,11	0,12	0,23	0,63	12,6%
	j=3	1	3	1	3	3	3		j=3	0,35	0,29	0,33	0,36	0,23	1,56	31,3%
	j=4	1/3	1	1/3	1	3	8 1/3		j=4	0,12	0,10	0,11	0,12	0,23	0,67	13,5%
	j=5	1/3	1/3	1/3	1/3	1	13		j=5	0,12	0,03	0,11	0,04	0,08	0,38	7,5%
Experte23	i=1	1	1	3	3	3	3	Experte23	i=1	0,33	0,33	0,36	0,33	0,27	1,63	32,7%
	j=2	1	1	3	3	3	3		j=2	0,33	0,33	0,36	0,33	0,27	1,63	32,7%
	j=3	1/3	1/3	1	1	3	8 1/3		j=3	0,11	0,11	0,12	0,11	0,27	0,73	14,5%
	j=4	1/3	1/3	1	1	1	9		j=4	0,11	0,11	0,12	0,11	0,09	0,54	10,9%
	j=5	1/3	1/3	1/3	1	1	11		j=5	0,11	0,11	0,04	0,11	0,09	0,46	9,3%
Experte24	i=1	1	3	1	1/3	1	6 1/3	Experte24	i=1	0,16	0,27	0,33	0,06	0,14	0,97	19,3%
	j=2	1/3	1	1/3	1/3	1	11		j=2	0,05	0,09	0,11	0,06	0,14	0,46	9,1%
	j=3	1	3	1	3	3	3		j=3	0,16	0,27	0,33	0,53	0,43	1,72	34,4%
	j=4	3	3	1/3	1	1	5 2/3		j=4	0,47	0,27	0,11	0,18	0,14	1,18	23,5%
	j=5	1	1	1/3	1	1	7		j=5	0,16	0,09	0,11	0,18	0,14	0,68	13,6%

Gewichtungen der Bewertungskriterien für das Bewertungselement *Fertigungskonzept* (i=4) (c_{4j})

		i=1	j=2	j=3	j=4	j=5	ΣS _{4j}			i=1	j=2	j=3	j=4	j=5	ΣZ _{4j}	c _{4j}
Experte25	i=1	1	1/3	1/3	1/5	1/5	17	Experte25	i=1	0,06	0,03	0,14	0,03	0,04	0,30	6,0%
	j=2	3	1	1/3	1/3	1/5	12 1/3		j=2	0,18	0,08	0,14	0,04	0,04	0,49	9,7%
	j=3	3	3	1	3	3	2 1/3		j=3	0,18	0,24	0,43	0,40	0,63	1,88	37,6%
	j=4	5	3	1/3	1	1/3	7 1/2		j=4	0,29	0,24	0,14	0,13	0,07	0,88	17,7%
	j=5	5	5	1/3	3	1	4 3/4		j=5	0,29	0,41	0,14	0,40	0,21	1,45	29,0%
Experte27	i=1	1	1/3	1	1/5	1/5	15	Experte27	i=1	0,07	0,06	0,14	0,03	0,07	0,37	7,4%
	j=2	3	1	1	3	1/3	5 2/3		j=2	0,20	0,18	0,14	0,48	0,12	1,12	22,4%
	j=3	1	1	1	1	1/3	7		j=3	0,07	0,18	0,14	0,16	0,12	0,66	13,3%
	j=4	5	1/3	1	1	1	6 1/5		j=4	0,33	0,06	0,14	0,16	0,35	1,05	20,9%
	j=5	5	3	3	1	1	2 7/8		j=5	0,33	0,53	0,43	0,16	0,35	1,80	36,0%
Experte31	i=1	1	1	3	5	5	2 3/4	Experte31	i=1	0,37	0,27	0,37	0,45	0,38	1,84	36,9%
	j=2	1	1	3	3	1	3 2/3		j=2	0,37	0,27	0,37	0,27	0,38	1,35	27,1%
	j=3	1/3	1/3	1	1	5	8 1/5		j=3	0,12	0,09	0,12	0,09	0,38	0,81	16,2%
	j=4	1/5	1/3	1	1	1	11		j=4	0,07	0,09	0,12	0,09	0,08	0,45	9,1%
	j=5	1/5	1	1/5	1	1	13		j=5	0,07	0,27	0,02	0,09	0,08	0,54	10,8%
Experte32	i=1	1	1/3	1	1/3	1/5	13	Experte32	i=1	0,08	0,12	0,07	0,06	0,06	0,38	7,6%
	j=2	3	1	5	3	1	2 6/7		j=2	0,23	0,35	0,33	0,53	0,29	1,74	34,7%
	j=3	1	1/5	1	1/3	1/5	15		j=3	0,08	0,07	0,07	0,06	0,06	0,33	6,6%
	j=4	3	1/3	3	1	1	5 2/3		j=4	0,23	0,12	0,20	0,18	0,29	1,02	20,4%
	j=5	5	1	5	1	1	3 2/5		j=5	0,38	0,35	0,33	0,18	0,29	1,54	30,7%
Experte33	i=1	1	1/3	1	1	1/3	9	Experte33	i=1	0,11	0,11	0,14	0,14	0,08	0,58	11,7%
	j=2	3	1	3	3	1	3		j=2	0,33	0,33	0,43	0,43	0,23	1,75	35,1%
	j=3	1	1/3	1	1	1	7		j=3	0,11	0,11	0,14	0,14	0,23	0,74	14,8%
	j=4	1	1/3	1	1	1	7		j=4	0,11	0,11	0,14	0,14	0,23	0,74	14,8%
	j=5	3	1	1	1	1	4 1/3		j=5	0,33	0,33	0,14	0,14	0,23	1,18	23,7%
Experte34	i=1	1	1/3	1/5	1	1	11	Experte34	i=1	0,09	0,06	0,04	0,11	0,23	0,53	10,7%
	j=2	3	1	1/3	3	1	5 2/3		j=2	0,27	0,18	0,07	0,33	0,23	1,08	21,6%
	j=3	5	3	1	3	1/3	4 6/7		j=3	0,45	0,53	0,21	0,33	0,08	1,60	32,0%
	j=4	1	1/3	1/3	1	1	9		j=4	0,09	0,06	0,07	0,11	0,23	0,56	11,2%
	j=5	1	1	3	1	1	4 1/3		j=5	0,09	0,18	0,62	0,11	0,23	1,23	24,5%

Gewichtungen der Bewertungskriterien für das Bewertungselement *Beschafungskonzept* ($i=5$) (c_{5j})

		i=1	j=2	j=3	j=4	j=5	$\sum S_{5j}$			i=1	j=2	j=3	j=4	j=5	$\sum Z_{5j}$	c_{5j}
398-Experte45	i=1	1	1/5	1/5	5	1	12 1/5	Experte39	i=1	0,08	0,06	0,07	0,26	0,16	0,64	12,7%
	j=2	5	1	1	5	1	3 2/5		j=2	0,41	0,29	0,37	0,26	0,16	1,49	29,8%
	j=3	5	1	1	5	3	2 3/4		j=3	0,41	0,29	0,37	0,26	0,47	1,81	36,1%
	j=4	1/5	1/5	1/5	1	1/3	19		j=4	0,02	0,06	0,07	0,05	0,05	0,25	5,1%
	j=5	1	1	1/3	3	1	6 1/3		j=5	0,08	0,29	0,12	0,16	0,16	0,81	16,3%
Experte40	i=1	1	1/5	1/5	1/5	1/5	21	Experte40	i=1	0,05	0,03	0,03	0,03	0,09	0,24	4,7%
	j=2	5	1	1	1	1/3	6 1/5		j=2	0,24	0,16	0,16	0,16	0,15	0,87	17,5%
	j=3	5	1	1	1	1/3	6 1/5		j=3	0,24	0,16	0,16	0,16	0,15	0,87	17,5%
	j=4	5	1	1	1	1/3	6 1/5		j=4	0,24	0,16	0,16	0,16	0,15	0,87	17,5%
	j=5	5	3	3	3	1	2 1/5		j=5	0,24	0,48	0,48	0,48	0,45	2,14	42,9%
Experte42	i=1	1	1/3	1/3	1/3	1/3	13	Experte42	i=1	0,08	0,11	0,09	0,04	0,04	0,36	7,2%
	j=2	3	1	1	3	3	3		j=2	0,23	0,33	0,27	0,39	0,36	1,59	31,8%
	j=3	3	1	1	3	1	3 2/3		j=3	0,23	0,33	0,27	0,39	0,12	1,35	27,0%
	j=4	3	1/3	1/3	1	3	7 2/3		j=4	0,23	0,11	0,09	0,13	0,36	0,92	18,5%
	j=5	3	1/3	1	1/3	1	8 1/3		j=5	0,23	0,11	0,27	0,04	0,12	0,78	15,6%

Direkte Einzel-Einflussmatrizen der Bewertungselemente

Einzel-Einflussmatrix des Bewertungselements *Produktstrategie* (i=1)

Produktstrategie (i=1)														
		Experte46				Mittelwert								
i	j	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	
1	1	0	0	0	+	++	+	0,0	0,0	0,0	1,0	2,0	1,0	
	2	0	0	0	0	+	0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	
	3	+	0	0	0	0	+	+	1,0	0,0	0,0	0,0	1,0	1,0
	4	++	+	0	0	0	+	+	2,0	1,0	0,0	0,0	1,0	1,0
	5	+	0	+	0	0	0	0	1,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0
	6	0	0	0	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2	1	0	0	0	0	-	0	0,0	0,0	0,0	0,0	-1,0	0,0	
	2	0	0	0	0	-	-	0,0	0,0	0,0	0,0	-1,0	-1,0	
	3	-	0	-	-	-	-	-1,0	0,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	
	4	0	0	-	-	-	-	0,0	0,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	
	5	0	0	-	0	-	-	0,0	0,0	-1,0	0,0	-1,0	-1,0	
	6	+	0	+	+	+	+	+	1,0	0,0	1,0	1,0	1,0	1,0
3	1	0	0	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
	2	0	0	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
	3	0	0	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
	4	0	0	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
	5	0	0	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
	6	0	0	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
4	1	0	0	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
	2	0	0	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
	3	0	0	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
	4	0	0	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
	5	0	0	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
	6	0	0	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
5	1	0	0	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
	2	0	0	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
	3	0	0	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
	4	0	0	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
	5	0	0	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
	6	0	0	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	

Legende	i	Index für Bewertungselemente	j	Index für Bewertungskriterien	0 / + / -	kein / positiver / negativer Einfluss
---------	---	------------------------------	---	-------------------------------	-----------	---------------------------------------

Einzel-Einflussmatrix des Bewertungselements *Produktdesign* (i=2)

		Produktdesign (i=2)																																						
		Experte11						Experte13						Experte15						Experte16						Experte20						Mittelwert								
i	j	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6			
1	1	++	-	-	-	++	0	0	0	0	0	+	+	+	-	++	0	0	0	0	++	0	-	+	-	+	-	+	0,6	-0,2	0,2	-0,6	0,0	1,4						
	2	++	++	++	0	0	++	0	0	0	+	+	+	+	++	++	++	++	++	++	++	0	0	0	0	+	0	-	0	+	0	+	0,6	0,4	0,5	0,6	0,8	1,2		
	3	0	-	-	-	++	0	-	-	-	0	+	-	+	0	-	+	-	-	-	-	0	-	-	-	0	-	-	-	0	-0,2	-1,0	-1,0	-0,8	-1,2	0,6				
	4	++	+	0	+	++	0	0	0	0	0	0	+	0	0	0	++	+	0	0	0	0	++	0	0	0	0	0	+	0	+	0	0	+	0,6	0,2	0,0	0,2	0,6	1,2
	5	--	--	--	++	0	-	-	-	+	--	-	-	-	-	-	+	--	-	-	-	++	--	--	--	+	-1,6	-1,8	-1,4	-1,4	-1,4	1,4								
	6	-	-	0	-	+	0	-	0	-	0	-	0	-	-	-	++	0	0	0	0	0	0	0	0	0	+	-0,4	-0,6	-0,2	-0,8	-0,6	0,8							
2	1	0	0	+	+	+	-	0	+	0	++	++	-	0	++	++	++	++	-	0	++	++	++	++	-	0	+	+	+	-	0,0	1,2	1,2	1,6	1,6	-1,4				
	2	0	0	+	++	++	-	0	0	+	++	++	-	++	0	++	++	++	-	++	0	++	++	++	-	0	0	+	+	+	-	0,8	0,0	1,2	1,8	1,8	-1,4			
	3	+	0	0	++	++	-	0	+	0	+	+	++	+	0	+	+	+	-	0	0	0	++	0	0	0	0	0	-	0,6	1,4	0,0	1,2	0,8	-0,6					
	4	+	+	0	0	+	-	0	0	0	0	++	-	++	++	++	0	+	-	++	++	+	0	+	-	0	0	0	0	+	-	1,0	1,0	0,8	0,0	1,2	-1,2			
	5	0	++	0	++	0	-	0	+	+	+	0	-	++	++	++	++	0	-	++	+	0	+	0	0	+	0	+	0	0	-	0,8	1,4	0,6	1,2	0,0	-1,2			
	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					
	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					
	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					
	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					
	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					
	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					
4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					
	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					
	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					
	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					
	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					
	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					
5	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					
	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					
	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					
	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					
	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					
	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					

Legende: i Index für Bewertungselemente, j Index für Bewertungskriterien, 0/ kein positiver/negativer Einfluss, ++ positiver/negativer Einfluss

Einzel-Einflussmatrix des Bewertungselements *Erprobungskonzept* (i=3)

		Erprobungskonzept (i=3)																												
		Experte22						Experte23						Experte24						Mittelwert										
i	j	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6					
1	1	0	0	0	0	0	0	+	+	0	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	1,0	0,7	0,3	0,7	0,7	1,0	
	2	0	0	+	0	0	0	+	+	0	+	+	+	+	+	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,7	0,0	0,7	0,3	0,3	0,0
	3	0	0	+	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0	0,0	-0,7	0,0	0,0	0,0
	4	0	0	0	0	0	0	+	+	+	+	+	+	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,0
	5	0	-	0	0	+	-	-	-	-	-	0	+	-	0	-	-	-	+	-	0	-	-	+	-1,0	-0,7	-1,0	-0,7	-0,3	1,0
	6	0	0	0	0	0	0	-	-	-	-	-	+	-	-	0	-	-	+	-	0	-	-	+	-1,0	-0,7	-0,3	-0,7	-0,7	0,7
2	1	+	0	+	+	+	-	0	+	+	+	+	-	+	0	+	+	+	+	+	+	+	+	0,7	0,3	1,3	1,3	1,3	-1,3	
	2	+	0	+	+	+	-	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	1,3	0,7	1,3	1,3	1,3	-1,3	
	3	0	0	+	+	+	-	0	0	0	0	0	0	-	+	0	+	+	+	+	+	+	+	0,7	0,0	1,0	0,7	0,7	-1,3	
	4	+	0	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	1,3	0,3	1,7	1,3	1,3	-1,3	
	5	0	0	0	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+	0	0	0	+	-	-	-	-	-	1,0	0,3	0,3	1,0	1,3	-1,3
	6	-	-	0	0	0	+	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-1,3	-1,3	-1,3	-1,0	-1,0	1,3
3	1	0	0	+	+	+	-	0	+	+	+	+	+	0	+	+	+	+	+	+	+	+	+	0,0	1,0	1,0	1,3	1,3	-1,3	
	2	0	0	+	+	+	-	+	+	0	+	+	+	-	+	0	+	+	+	+	+	+	+	1,0	0,0	1,3	1,0	1,3	-1,3	
	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	+	+	+	+	-	0,0	0,0	0,0	0,7	0,7	-0,7	
	4	+	+	+	0	+	-	+	+	+	0	+	0	0	+	+	+	+	0	+	+	+	+	-	0,7	1,3	1,3	0,0	1,3	-0,7
	5	+	+	+	+	0	-	+	+	+	0	0	0	0	0	0	0	+	+	+	+	+	-	0,7	0,7	0,7	1,0	0,0	-0,7	
	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
4	1	+	0	0	0	0	+	+	+	0	0	0	0	-	+	0	0	0	0	0	0	0	0	1,3	0,3	0,3	0,0	0,0	-0,3	
	2	+	0	+	+	+	+	+	+	+	+	+	0	-	+	0	+	+	+	+	+	+	-	1,7	0,7	1,0	0,7	0,3	-0,7	
	3	0	0	+	0	0	0	0	0	0	0	+	0	0	-	+	0	0	0	0	0	0	0	0,7	0,0	0,7	0,0	0,0	-0,3	
	4	0	0	0	0	0	0	+	+	+	0	0	0	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,3	0,3	0,3	0,0	0,0	-0,3	
	5	0	0	0	0	0	0	+	+	+	+	+	+	-	+	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,0	0,7	0,3	0,3	0,3	-0,3
	6	-	0	0	0	0	0	-	-	-	0	0	+	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1,3	-0,3	-0,3	0,0	0,0	0,3	
5	1	+	0	+	+	+	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,3	0,0	0,3	0,3	0,3	0,0	
	2	+	0	+	+	+	0	+	+	+	0	0	0	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	1,3	0,3	1,0	0,7	0,3	-0,3	
	3	0	0	+	+	+	0	0	0	0	+	0	0	0	+	+	0	0	0	0	0	0	+	0,7	0,0	1,0	0,3	0,7	0,0	
	4	0	0	0	0	0	0	+	+	+	0	0	0	0	+	+	0	0	0	0	0	0	0	1,0	0,3	0,3	0,0	0,0	0,0	
	5	0	0	0	0	0	0	+	+	0	+	0	0	0	+	+	0	0	0	0	0	0	0	1,0	0,3	0,0	0,3	0,0	0,0	
	6	-	0	0	0	0	0	-	-	-	0	0	0	0	-	0	0	0	0	0	0	0	0	-1,3	-0,3	-0,3	0,0	0,0	0,0	

Legende: i Index für Bewertungselemente j Index für Bewertungskriterien +/- kein/ positiver/ negativer Einfluss

Anwendung des Funktionsdemonstrators für CP4-Varianten

Bewertungen der Bewertungselemente für V1

		a ₁ = 29,5%		Bewertung e _{1i}				
J	Frage	Gewichtung c _{1j}	Bewertung e _{1i}					Bemerkung zur Auswahl
			Skala	sehr gering	gering	hoch	sehr hoch	
1	Wie ist die langfristige Potenzial der Variante am Markt (ggw. Wettbewerb) einzuschätzen?	21,6%	Skala	sehr gering	gering	hoch	sehr hoch	
			Erklärung	Kundenindividuelle Sonderlösung ohne Marktpotenzial	Verringern oder Schließen einer Marktlücke	Ähnliche Produkte sind beim Wettbewerber in Vorbereitung	Hohe Wettbewerbsfähigkeit im Potenzial zur Produktverfestigung	
			Bewertung e _{1i}		x			
			Skala	sehr gering	gering	hoch	sehr hoch	
			Bemerkung zur Auswahl					
2	Wie ist die Relevanz des Kunden im Rahmen der Kundenstrategie einzuschätzen?	25,7%	Skala	sehr gering	gering	hoch	sehr hoch	
			Erklärung	Klein präferierter Kunde	Bestandskunde, Neugeschäft wird nicht präferiert	Neukunde mit kommerziell und technischem Potenzial	Strategischer Kunde	
			Bewertung e _{1i}				x	
			Skala	sehr gering	gering	hoch	sehr hoch	
			Bemerkung zur Auswahl					
3	Wie sind die Erfahrungen mit dem Kunden hinsichtlich der Anforderungsdefinition einzuschätzen?	6,5%	Skala	sehr gering	gering	hoch	sehr hoch	
			Erklärung	Unkonkrete Kundenanforderungen mit häufigen Änderungen	Unkonkrete Kundenanforderungen mit wenigen Änderungen	Konkrete Kundenanforderungen mit wenigen Änderungen	Konkrete Kundenanforderungen mit wenigen/keinen Änderungen	
			Bewertung e _{1i}			x		
			Skala	sehr gering	gering	hoch	sehr hoch	
			Bemerkung zur Auswahl					
4	Wie ist der Gesamt-Umsatz der Variante über die nächsten 5 Jahre einzuschätzen?	22,5%	Skala	sehr gering	gering	hoch	sehr hoch	
			Erklärung	0 € - 50 Mio. €	50 Mio. € - 150 Mio. €	150 Mio. € - 250 Mio. €	≥ 250 Mio. €	
			Bewertung e _{1i}			x		
			Skala	sehr gering	gering	hoch	sehr hoch	
			Bemerkung zur Auswahl					
5	Inwieweit ist die Variante mit der Plattformstrategie hinsichtlich des Produktportfolios und der Zielplanung vereinbar?	23,8%	Skala	sehr gering	gering	hoch	sehr hoch	
			Erklärung	Nicht präferierte Integration, Plattform wird nicht präferiert	Aufwändige Integration, Plattform ist in Serienfertigung	Eher einfache Integration, Start der Plattformentwicklung ist erfolgt	Einfache Integration, Start der Plattformentwicklung ist nicht erfolgt	
			Bewertung e _{1i}		x			
			Skala	sehr gering	gering	hoch	sehr hoch	
			Bemerkung zur Auswahl					
6	Empfehlung	ja						
Summe der Gewichtungen gleich 100%								

		a ₂ = 19,0%		Bewertung e _{2i}				
J	Frage	Gewichtung c _{2j}	Bewertung e _{2i}					Bemerkung zur Auswahl
			Skala	sehr gering	gering	hoch	sehr hoch	
1	Wie viele Bausteile sind betroffen?	5,7%	Skala	sehr gering	gering	hoch	sehr hoch	
			Erklärung	0 - 1	2 - 3 Bausteile	4 - 5 Bausteile	≥ 6 Bausteile	
			Bewertung e _{2i}			x		
2	Wie ist der Entwicklungsfortschritt zur Realisierung der betroffenen Bausteile als Zusatz zur Plattform einzuschätzen?	18,0%	Skala	sehr gering	gering	hoch	sehr hoch	
			Erklärung	0,5 - 1 Manijahre	1 - 5 Manijahre	5 - 10 Manijahre	≥ 10 Manijahre	
			Bewertung e _{2i}		x			
3	Wie ist der Aufwand zur Realisierung des Kundentermins einzuschätzen?	38,5%	Skala	sehr gering	gering	hoch	sehr hoch	
			Erklärung	Kundentermin ist realisierbar	Kundentermin ist realisierbar mit Umpriorisierung von Projekten	Kundentermin ist realisierbar mit Aufgaben	Kundentermin ist nicht realisierbar	
			Bewertung e _{2i}		x			
4	Wie ist der Kapazitätsbedarf bei der Entwicklung unter den gegebenen Randbedingungen (Stückzahl, Kundentermin) einzuschätzen?	22,3%	Skala	sehr gering	gering	hoch	sehr hoch	
			Erklärung	Mit aktueller personeller Kapazität realisierbar	Mit aktueller personeller Kapazität realisierbar durch Umpriorisierung von Projekten	Mit zeitlich begrenztem Mehraufwand der Mitarbeiter realisierbar	Mit aktueller personeller Kapazität nicht realisierbar, neue Mitarbeiter sind erforderlich	
			Bewertung e _{2i}			x		
5	Wie sind die Entwicklungskosten zur Realisierung der Variante einzuschätzen?	15,5%	Skala	sehr gering	gering	hoch	sehr hoch	
			Erklärung	0 - 100.000 €	100.000 € - 1 Mio. €	1 Mio. € - 2,5 Mio. €	≥ 2,5 Mio. €	
			Bewertung e _{2i}		x			
6	Empfehlung	ja						
Summe der Gewichtungen gleich 100%								

Nicht Aktiv		Bitte auswählen						
		a ₁ = 12,3%						
Frage	Gewichtung c ₁	Skala					Bemerkung zur Auswahl	
		sehr gering	gering	hoch	sehr hoch			
1	Wie ist der Aufwand zur Realisierung der Variante hinsichtlich der Plattformengründung einzuschätzen?	29,3%	Skala	sehr gering	gering	hoch	sehr hoch	Bemerkung zur Auswahl
			Erklärung	Mit Plattformengründung realisierbar	Mit Plattformengründung durch geringen Anpassungsaufwand realisierbar	Mit Plattformengründung durch hohen Anpassungsaufwand realisierbar	Mit Plattformengründung ist realisierbar	
			Bewertung e ₁		x			
2	Wie ist der Aufwand zur technischen Realisierung der Variante mit der Prof- und Messtechnik einzuschätzen?	18,1%	Skala	sehr gering	gering	hoch	sehr hoch	Bemerkung zur Auswahl
			Erklärung	Mit Prof- und Messtechnik realisierbar	Mit Prof- und Messtechnik durch geringen Anpassungsaufwand realisierbar	Mit Prof- und Messtechnik durch hohen Anpassungsaufwand realisierbar	Prof- und Messtechnik sind nicht bekannt	
			Bewertung e ₁		x			
3	Wie ist der Aufwand zur Realisierung des Kundentermin einzuschätzen?	36,7%	Skala	sehr gering	gering	hoch	sehr hoch	Bemerkung zur Auswahl
			Erklärung	Kundentermin ist realisierbar	Kundentermin ist realisierbar mit Umplatzierung von Projekten	Kundentermin ist realisierbar mit Auflegen	Kundentermin ist nicht realisierbar	
			Bewertung e ₁		x			
4	Wie ist der Kapazitätsbedarf bei der Fertigung unter den geforderten Randbedingungen (Stückzahl, Kundenstimmung) einzuschätzen?	16,0%	Skala	sehr gering	gering	hoch	sehr hoch	Bemerkung zur Auswahl
			Erklärung	Mit aktueller personeller Kapazität realisierbar	Mit aktueller personeller Kapazität realisierbar durch Umplatzierung von Projekten	Mit zeitlich begrenztem Mehraufwand der Mitarbeiter realisierbar	Mit aktueller personeller Kapazität nicht realisierbar neue Mitarbeiter sind erforderlich	
			Bewertung e ₁		x			
5	Wie sind die Kosten in der Fertigung zur Realisierung der Variante einzuschätzen?	10,1%	Skala	sehr gering	gering	hoch	sehr hoch	Bemerkung zur Auswahl
			Erklärung	0 € - 50.000 €	50.000 € - 100.000 €	100.000 € - 200.000 €	200.000 €	
			Bewertung e ₁		x			
6 Empfehlung								
		0						

Aktiv		Bitte auswählen						
		a ₂ = 23,2%						
Frage	Gewichtung c ₂	Skala					Bemerkung zur Auswahl	
		sehr gering	gering	hoch	sehr hoch			
1	Wie ist der organisatorische Aufwand für die betrieblichen Fertigungswerke des Produktionsnetzwerks einzuschätzen?	13,9%	Skala	sehr gering	gering	hoch	sehr hoch	Bemerkung zur Auswahl
			Erklärung	sehr geringer organisatorischer Aufwand für die Fertigungswerke	geringer organisatorischer Aufwand für die Fertigungswerke	hoher organisatorischer Aufwand für die Fertigungswerke	sehr hoher organisatorischer Aufwand für die Fertigungswerke	
			Bewertung e ₂		x			
2	Wie ist der Aufwand zur technischen Realisierung der Variante mit den Fertigungsverfahren und -prozessen einzuschätzen?	25,8%	Skala	sehr gering	gering	hoch	sehr hoch	Bemerkung zur Auswahl
			Erklärung	Mit Fertigungsverfahren und -prozesse realisierbar	Mit Fertigungsverfahren und -prozesse durch geringen Anpassungsaufwand realisierbar	Mit Fertigungsverfahren und -prozesse durch hohen Anpassungsaufwand realisierbar	Fertigungsverfahren und -prozesse sind nicht bekannt	
			Bewertung e ₂		x			
3	Wie ist der Aufwand zur Realisierung des Kundentermin einzuschätzen?	17,7%	Skala	sehr gering	gering	hoch	sehr hoch	Bemerkung zur Auswahl
			Erklärung	Kundentermin ist realisierbar	Kundentermin ist realisierbar mit Umplatzierung von Projekten	Kundentermin ist realisierbar mit Auflegen	Kundentermin ist nicht realisierbar	
			Bewertung e ₂		x			
4	Wie ist der Kapazitätsbedarf bei der Fertigung unter den geforderten Randbedingungen (Stückzahl, Kundenstimmung) einzuschätzen?	16,6%	Skala	sehr gering	gering	hoch	sehr hoch	Bemerkung zur Auswahl
			Erklärung	Mit aktueller personeller Kapazität realisierbar	Mit aktueller personeller Kapazität realisierbar durch Umplatzierung von Projekten	Mit zeitlich begrenztem Mehraufwand der Mitarbeiter realisierbar	Mit aktueller personeller Kapazität nicht realisierbar neue Mitarbeiter sind erforderlich	
			Bewertung e ₂		x			
5	Wie sind die Investitionen in der Fertigung zur Realisierung der Variante einzuschätzen?	26,0%	Skala	sehr gering	gering	hoch	sehr hoch	Bemerkung zur Auswahl
			Erklärung	0 € - 100.000 €	100.000 € - 0,5 Mio. €	0,5 Mio. € - 2,5 Mio. €	≥ 2,5 Mio. €	
			Bewertung e ₂		x			
6 Empfehlung		ja						
		Summe der Gewichtungen gleich 100%						

Aktiv		Bitte auswählen							
a _i = 15,9%									
J	Frage	Gewichtung c _i	Bewertung e _{ij}						
			Skala	sehr gering	gering	hoch	sehr hoch	Bemerkung zur Auswahl	
Beschaffungsstrategie (n=1)	1	Wie ist der Aufwand zur Realisierung der Variante im Rahmen der Lieferantenstrategie einzuschätzen?	8,2%	Skala	sehr gering	gering	hoch	sehr hoch	Bemerkung zur Auswahl
			Erklärung	Lieferant ist für Neugeschäft geeignet	Lieferant ist für Neugeschäft geeignet, wird nicht präferiert	Lieferant ist für Neugeschäft teilweise gesperrt	Lieferant ist für Neugeschäft gesperrt		
			Bewertung e _{ij}		x				
			Skala	sehr gering	gering	hoch	sehr hoch	Bemerkung zur Auswahl	
			Erklärung	Mit Fertigungsverfahren und -prozesse beim Lieferanten realisierbar	Mit Fertigungsverfahren und -prozesse beim Lieferanten durch geringen Anpassungsaufwand realisierbar	Mit Fertigungsmerkmalen und -prozesse beim Lieferanten durch hohen Anpassungsaufwand realisierbar	Fertigungsverfahren und -prozesse sind beim Lieferanten nicht bekannt		
		Bewertung e _{ij}		x					
	3	Wie ist der Aufwand zur Realisierung des Kundentermins einzuschätzen?	25,9%	Skala	sehr gering	gering	hoch	sehr hoch	Bemerkung zur Auswahl
		Erklärung	Kundentermin ist realisierbar	Kundentermin ist realisierbar mit Umpriorisierung von Projekten	Kundentermin ist realisierbar mit Aufträgen	Kundentermin ist nicht realisierbar			
		Bewertung e _{ij}		x					
		Skala	sehr gering	gering	hoch	sehr hoch	Bemerkung zur Auswahl		
		Erklärung	Mit aktueller personeller Kapazität realisierbar	Mit aktueller personeller Kapazität realisierbar durch Umpriorisierung von Projekten	Mit zeitlich begrenztem Mehraufwand der Mitarbeiter realisierbar	Mit aktueller personeller Kapazität nicht realisierbar, neue Mitarbeiter sind erforderlich			
		Bewertung e _{ij}		x					
	5	Wie sind die Kosten beim Einkauf zur Realisierung der Variante einzuschätzen?	24,9%	Skala	sehr gering	gering	hoch	sehr hoch	Bemerkung zur Auswahl
		Erklärung	0 € - 10.000 €	10.000 € - 50.000 €	50.000 € - 1 Mio. €	1 Mio. €	≥ 1 Mio. €		
		Bewertung e _{ij}		x					
6	Empfehlung	nein							

Summe der Gewichtungen gleich 100%

Bewertungen der Bewertungselemente für V2

		a _i = 29,5%							
J	Frage	Gewichtung c _i	Bewertung e _{ij}						
			Skala	sehr gering	gering	hoch	sehr hoch	Bemerkung zur Auswahl	
Produktstrategie (n=1)	1	Wie ist das langfristige Potenzial der Variante am Markt (ggü. Wettbewerber) einzuschätzen?	21,6%	Skala	sehr gering	gering	hoch	sehr hoch	Bemerkung zur Auswahl
			Erklärung	Kundenrückfälle / Sonderlösung ohne Marktpotenzial	Keinigen oder Schließen einer Marktlücke	Ähnliche Produkte sind beim Wettbewerber in Vorbereitung	Hohe Wettbewerbsfähigkeit mit Potenzial zur Produktdifferenziation		
			Bewertung e _{ij}		x				
			Skala	sehr gering	gering	hoch	sehr hoch	Bemerkung zur Auswahl	
			Erklärung	Kein präferierter Kunde	Bestandskunde, Neugeschäft wird nicht präferiert	Neukunde mit kommerziellem und technischem Potenzial	Strategischer Kunde		
		Bewertung e _{ij}		x					
	3	Wie sind die Erfahrungen mit dem Kunden hinsichtlich der Lieferleistungsänderungen einzuschätzen?	6,5%	Skala	sehr gering	gering	hoch	sehr hoch	Bemerkung zur Auswahl
		Erklärung	Unkonkrete Kundenanforderungen mit häufigen Änderungen	Unkonkrete Kundenanforderungen mit wenigen Änderungen	Konkrete Kundenanforderungen mit wenigen Änderungen	Konkrete Kundenanforderungen mit wenigen/keinen Änderungen			
		Bewertung e _{ij}		x					
		Skala	sehr gering	gering	hoch	sehr hoch	Bemerkung zur Auswahl		
		Erklärung	0 € - 50 Mio. €	50 Mio. € - 150 Mio. €	150 Mio. € - 250 Mio. €	≥ 250 Mio. €			
		Bewertung e _{ij}		x					
	5	Inwieweit ist die Variante mit der Plattformstrategie hinsichtlich des Produktportfolios und der Zielplanung vereinbar?	23,8%	Skala	sehr gering	gering	hoch	sehr hoch	Bemerkung zur Auswahl
		Erklärung	Nicht präferierte Integration, Plattform wird nicht präferiert	Aufwändige Integration, Plattform ist in Serienfertigung	Eher einfache Integration, Start der Plattformentwicklung ist erfolgt	Einfache Integration, Start der Plattformentwicklung ist nicht erfolgt			
		Bewertung e _{ij}		x					
6	Empfehlung	ja							

Summe der Gewichtungen gleich 100%

a ₁ = 19,0%								
Frage	Gewichtung c _q	Bewertung a _{1j}					Bemerkung zur Auswahl	
		Skala	sehr gering	gering	hoch	sehr hoch		
1	Wie viele Bausteile sind betroffen?	5,7%	Skala	0 - 1	2 - 3 Bausteile	4 - 5 Bausteile	≥ 6 Bausteile	
			Bewertung a _{1j}				x	
2	Wie ist der Entwicklungs- aufwand zur Realisierung der erforderten Bausteile als Zusatz zur Plattform einzuschätzen?	18,0%	Skala	sehr gering	gering	hoch	sehr hoch	Bemerkung zur Auswahl
			Bewertung a _{1j}				x	
3	Wie ist der Aufwand zur Realisierung des Kundentermin einzuschätzen?	38,5%	Skala	sehr gering	gering	hoch	sehr hoch	Bemerkung zur Auswahl
			Bewertung a _{1j}		x			
4	Wie ist der Kapazitätsbedarf bei der Erreichung unter den geforderten Randbedingungen (Stückzahl, Kundentermin) einzuschätzen?	22,3%	Skala	sehr gering	gering	hoch	sehr hoch	Bemerkung zur Auswahl
			Bewertung a _{1j}				x	
5	Wie sind die Entwicklungskosten zur Realisierung der Variante einzuschätzen?	15,5%	Skala	sehr gering	gering	hoch	sehr hoch	Bemerkung zur Auswahl
			Bewertung a _{1j}				x	
Empfehlung		Nein						

Summe der Gewichtungen gleich 100%

Nicht Aktiv								
Bitte auswählen								
a ₂ = 12,3%								
Frage	Gewichtung c _q	Bewertung a _{2j}					Bemerkung zur Auswahl	
		Skala	sehr gering	gering	hoch	sehr hoch		
1	Wie ist der Aufwand zur Realisierung der Variante einschließlich der Notwendigkeit der Plattformanpassung einzuschätzen?	39,0%	Skala	sehr gering	gering	hoch	sehr hoch	Bemerkung zur Auswahl
			Bewertung a _{2j}				x	
2	Wie ist der Aufwand zur technischen Realisierung der Variante mit der Prof. und Reservekraft einzuschätzen?	19,1%	Skala	sehr gering	gering	hoch	sehr hoch	Bemerkung zur Auswahl
			Bewertung a _{2j}				x	
3	Wie ist der Aufwand zur Realisierung des Kundentermin einzuschätzen?	29,7%	Skala	sehr gering	gering	hoch	sehr hoch	Bemerkung zur Auswahl
			Bewertung a _{2j}				x	
4	Wie ist der Kapazitätsbedarf bei der Erreichung unter den geforderten Randbedingungen (Stückzahl, Kundentermin) einzuschätzen?	16,0%	Skala	sehr gering	gering	hoch	sehr hoch	Bemerkung zur Auswahl
			Bewertung a _{2j}				x	
5	Wie sind die Kosten in der Erreichung zur Realisierung der Variante einzuschätzen?	10,1%	Skala	sehr gering	gering	hoch	sehr hoch	Bemerkung zur Auswahl
			Bewertung a _{2j}				x	
Empfehlung		Nein						

Summe der Gewichtungen gleich 100%

Aktiv		Bitte auswählen						
		a _i = 23,2%						
Frage	Gewichtung c _i	Bewertung e _{ij}					Bemerkung zur Auswahl	
		Skala	sehr gering	gering	hoch	sehr hoch		
1	Wie ist der organisatorische Aufwand für die betrieblichen Fertigungsweeke des Produktionsnetzwerks einzuschätzen?	13,9%	Skala	sehr gering	gering	hoch	sehr hoch	Bemerkung zur Auswahl
			Erklärung	Sehr geringer organisatorischer Aufwand für die Fertigungsweeke	Geringer organisatorischer Aufwand für die Fertigungsweeke	Hoher organisatorischer Aufwand für die Fertigungsweeke	Sehr hoher organisatorischer Aufwand für die Fertigungsweeke	
			Bewertung e _{ij}		x			
2	Wie ist der Aufwand zur technischen Realisierung der Variante mit den Fertigungsvorfahren und -prozessen einzuschätzen?	25,6%	Skala	sehr gering	gering	hoch	sehr hoch	Bemerkung zur Auswahl
			Erklärung	Mit Fertigungsvorfahren und -prozesse realisierbar	Mit Fertigungsvorfahren und -prozesse durch geringen Anpassungsaufwand realisierbar	Mit Fertigungsvorfahren und -prozesse durch hohen Anpassungsaufwand realisierbar	Fertigungsvorfahren und -prozesse sind nicht bekannt	
			Bewertung e _{ij}			x		
3	Wie ist der Aufwand zur Realisierung des Kundentermins einzuschätzen?	17,7%	Skala	sehr gering	gering	hoch	sehr hoch	Bemerkung zur Auswahl
			Erklärung	Kundentermin ist realisierbar	Kundentermin ist realisierbar mit Umpriorisierung von Projekten	Kundentermin ist realisierbar mit Aufgaben	Kundentermin ist nicht realisierbar	
			Bewertung e _{ij}				x	
4	Wie ist der Kapazitätsbedarf bei der Fertigung unter den gegebenen Randbedingungen (Stückzahl, Kundentermin) einzuschätzen?	16,6%	Skala	sehr gering	gering	hoch	sehr hoch	Bemerkung zur Auswahl
			Erklärung	Mit aktueller personeller Kapazität realisierbar	Mit aktueller personeller Kapazität realisierbar durch Impriorisierung von Projekten	Mit zeitlich begrenztem Mehraufwand der Mitarbeiter realisierbar	Mit aktueller personeller Kapazität nicht realisierbar, neue Mitarbeiter sind erforderlich	
			Bewertung e _{ij}			x		
5	Wie sind die Investitionen in der Fertigung zur Realisierung der Variante einzuschätzen?	38,0%	Skala	sehr gering	gering	hoch	sehr hoch	Bemerkung zur Auswahl
			Erklärung	0 € - 100.000 €	100.000 € - 0,5 Mio. €	0,5 Mio. € - 2,5 Mio. €	≥ 2,5 Mio. €	
			Bewertung e _{ij}			x		
6 Empfehlung		ja						
Summe der Gewichtungen gleich 100%								

Aktiv		Bitte auswählen						
		a _i = 15,5%						
Frage	Gewichtung c _i	Bewertung e _{ij}					Bemerkung zur Auswahl	
		Skala	sehr gering	gering	hoch	sehr hoch		
1	Wie ist der Aufwand zur Realisierung der Variante im Rahmen der Lieferantenstrategie einzuschätzen?	8,2%	Skala	sehr gering	gering	hoch	sehr hoch	Bemerkung zur Auswahl
			Erklärung	Lieferant ist für Neugeschäft geeignet, wird nicht probiert.	Lieferant ist für Neugeschäft geeignet.	Lieferant ist für Neugeschäft teilweise geeignet.	Lieferant ist für Neugeschäft geeignet.	
			Bewertung e _{ij}		x			
2	Wie ist der Aufwand zur technischen Realisierung der Variante mit den Fertigungsvorfahren und -prozessen beim Zulieferer einzuschätzen?	35,3%	Skala	sehr gering	gering	hoch	sehr hoch	Bemerkung zur Auswahl
			Erklärung	Mit Fertigungsvorfahren und -prozesse beim Lieferanten realisierbar	Mit Fertigungsvorfahren und -prozesse beim Lieferanten durch geringen Anpassungsaufwand realisierbar	Mit Fertigungsvorfahren und -prozesse beim Lieferanten durch hohen Anpassungsaufwand realisierbar	Fertigungsvorfahren und -prozesse sind beim Lieferanten nicht bekannt	
			Bewertung e _{ij}			x		
3	Wie ist der Aufwand zur Realisierung des Kundentermins einzuschätzen?	38,9%	Skala	sehr gering	gering	hoch	sehr hoch	Bemerkung zur Auswahl
			Erklärung	Kundentermin ist realisierbar	Kundentermin ist realisierbar mit Impriorisierung von Projekten	Kundentermin ist realisierbar mit Aufgaben	Kundentermin ist nicht realisierbar	
			Bewertung e _{ij}				x	
4	Wie ist der Kapazitätsbedarf beim Einkauf unter den gegebenen Randbedingungen (Stückzahl, Kundentermin) einzuschätzen?	13,7%	Skala	sehr gering	gering	hoch	sehr hoch	Bemerkung zur Auswahl
			Erklärung	Mit aktueller personeller Kapazität realisierbar	Mit aktueller personeller Kapazität realisierbar durch Impriorisierung von Projekten	Mit zeitlich begrenztem Mehraufwand der Mitarbeiter realisierbar	Mit aktueller personeller Kapazität nicht realisierbar, neue Mitarbeiter sind erforderlich	
			Bewertung e _{ij}			x		
5	Wie sind die Kosten beim Einkauf zur Realisierung der Variante einzuschätzen?	24,9%	Skala	sehr gering	gering	hoch	sehr hoch	Bemerkung zur Auswahl
			Erklärung	0 € - 10.000 €	10.000 € - 50.000 €	50.000 € - 1 Mio. €	≥ 1 Mio. €	
			Bewertung e _{ij}			x		
6 Empfehlung		ja						
Summe der Gewichtungen gleich 100%								

Bewertungen der Bewertungselemente für V3

a ₁ = 29,5%							
Frage	Gewichtung c _{1j}	Bewertung a _{1j}					Bemerkung zur Auswahl
		Skala	sehr gering	gering	hoch	sehr hoch	
1 Wie ist das langfristige Potenzial der Variante am Markt (ggü. Wettbewerbl) einzuschätzen?	21,6%	Skala	sehr gering	gering	hoch	sehr hoch	
		Erklärung	Kundenindividuelle Sonderlösung ohne Marktpotential	Vermehren oder Schließen einer Marktfläche	Ähnliche Produkte sind beim Wettbewerber in Vorbereitung	Hohe Wettbewerbsfähigkeit mit Potential zur Produktdifferenziation	
		Bewertung a _{1j}				x	
2 Wie ist die Relevanz des Kunden im Rahmen der Kundenstrategie einzuschätzen?	25,7%	Skala	sehr gering	gering	hoch	sehr hoch	
		Erklärung	Kein präferierter Kunde	Bestandskunde, Neugeschäft wird nicht präferiert	Neukunde mit kommerziellm und technischem Potential	Strategischer Kunde	
		Bewertung a _{1j}			x		
3 Wie sind die Erfahrungen mit dem Kunden hinsichtlich der Anforderungsprofilen einzuschätzen?	6,5%	Skala	sehr gering	gering	hoch	sehr hoch	
		Erklärung	Unkonkrete Kundenanforderungen mit häufigen Änderungen	Unkonkrete Kundenanforderungen mit wenigen Änderungen	Konkrete Kundenanforderungen mit wenigen Änderungen	Konkrete Kundenanforderungen mit wenigen/keinen Änderungen	
		Bewertung a _{1j}			x		
4 Wie ist der Gesamtumsatz der Variante über die nächsten 5 Jahre einzuschätzen?	22,5%	Skala	sehr gering	gering	hoch	sehr hoch	
		Erklärung	≤ € - 50 Mio. €	50 Mio. € - 150 Mio. €	150 Mio. € - 250 Mio. €	> 250 Mio. €	
		Bewertung a _{1j}			x		
5 Inwieweit ist die Variante mit der Plattformstrategie hinsichtlich des Produktportfolios und der Plattformen vereinbar?	23,8%	Skala	sehr gering	gering	hoch	sehr hoch	
		Erklärung	Nicht präferierte Integration, Plattform wird nicht präferiert	Aufwändige Integration, Plattform ist in Bearbeitung	Eher einfache Integration, Start der Plattformentwicklung ist erfolgt	Einfache Integration, Start der Plattformentwicklung ist nicht erfolgt	
		Bewertung a _{1j}			x		
6 Empfehlung	Ja						

Summe der Gewichtungen gleich 100%.

a ₂ = 19,0%							
Frage	Gewichtung c _{2j}	Bewertung a _{2j}					Bemerkung zur Auswahl
		Skala	sehr gering	gering	hoch	sehr hoch	
1 Wie viele Bausteine sind betroffen?	5,7%	Skala	sehr gering	gering	hoch	sehr hoch	
		Erklärung	0 - 1	2 - 3 Bausteile	4 - 5 Bausteile	≥ 6 Bausteile	
		Bewertung a _{2j}			x		
2 Wie ist der Entwicklungs- Aufwand zur Realisierung der betroffenen Bausteile als Zusatz zur Plattform einzuschätzen?	18,0%	Skala	sehr gering	gering	hoch	sehr hoch	
		Erklärung	0,5 - 1 Manjahre	1 - 5 Manjahre	5 - 10 Manjahre	≥ 10 Manjahre	
		Bewertung a _{2j}				x	
3 Wie ist der Aufwand zur Realisierung des Kundenwunsches einzuschätzen?	38,5%	Skala	sehr gering	gering	hoch	sehr hoch	
		Erklärung	Kundenwunsch ist realisierbar	Kundenwunsch ist realisierbar mit Limitierung von Projekten	Kundenwunsch ist realisierbar mit Aufträgen	Kundenwunsch ist nicht realisierbar	
		Bewertung a _{2j}			x		
4 Wie ist der Kapazitätsbedarf bei der Entwicklung unter den definierten Randbedingungen (Blickzahl, Kundenwunsch) einzuschätzen?	22,3%	Skala	sehr gering	gering	hoch	sehr hoch	
		Erklärung	Mit aktueller personeller Kapazität realisierbar	Mit aktueller personeller Kapazität realisierbar durch Umpriorisierung von Projekten	Mit zeitlich begrenztem Mehraufwand der Mitarbeiter realisierbar	Mit aktueller personeller Kapazität nicht realisierbar, neue Mitarbeiter sind erforderlich	
		Bewertung a _{2j}			x		
5 Wie sind die Entwicklungskosten zur Realisierung der Variante einzuschätzen?	15,5%	Skala	sehr gering	gering	hoch	sehr hoch	
		Erklärung	0 - 100.000 €	100.000 € - 1 Mio. €	1 Mio. € - 2,5 Mio. €	≥ 2,5 Mio. €	
		Bewertung a _{2j}			x		
6 Empfehlung	Ja						

Summe der Gewichtungen gleich 100%.

Anhang

Aktiv		Bitte auswählen							
		a _i = 12,3%							
J	Frage	Gewichtung c _i	Bewertung e _{ik}				Bemerkung zur Auswahl		
1	Wie ist der Aufwand zur Realisierung der Variante hinsichtlich der Plattformprobung einzuschätzen?	29,0%	Skala	sehr gering	gering	hoch	sehr hoch		
			Erklärung	Mit Plattformprobung realisierbar	Mit Plattformprobung durch geringen Anpassungsaufwand realisierbar	Mit Plattformprobung durch hohen Anpassungsaufwand realisierbar	Neue Plattformprobung ist erforderlich		
			Bewertung e _{ik}			x			
			Skala	sehr gering	gering	hoch	sehr hoch		Bemerkung zur Auswahl
			Erklärung	Mit Prüf- und Mess-technik realisierbar	Mit Prüf- und Mess-technik durch geringen Anpassungsaufwand realisierbar	Mit Prüf- und Mess-technik durch hohen Anpassungsaufwand realisierbar	Prüf- und Mess-technik sind nicht bekannt		
Bewertung e _{ik}			x						
2	Wie ist der Aufwand zur technischen Realisierung der Variante mit der Prüf- und Messtechnik einzuschätzen?	18,1%	Skala	sehr gering	gering	hoch	sehr hoch		
			Erklärung	Mit Prüf- und Mess-technik realisierbar	Mit Prüf- und Mess-technik durch geringen Anpassungsaufwand realisierbar	Mit Prüf- und Mess-technik durch hohen Anpassungsaufwand realisierbar	Prüf- und Messtechnik sind nicht bekannt		
			Bewertung e _{ik}			x			
			Skala	sehr gering	gering	hoch	sehr hoch		Bemerkung zur Auswahl
			Erklärung	Kundentermin ist realisierbar	Kundentermin ist realisierbar mit Umpriorisierung von Projekten	Kundentermin ist realisierbar mit Aufgaben	Kundentermin ist nicht realisierbar		
Bewertung e _{ik}			x						
3	Wie ist der Aufwand zur Realisierung des Kundentermins einzuschätzen?	28,7%	Skala	sehr gering	gering	hoch	sehr hoch		
			Erklärung	Kundentermin ist realisierbar	Kundentermin ist realisierbar mit Umpriorisierung von Projekten	Kundentermin ist realisierbar mit Aufgaben	Kundentermin ist nicht realisierbar		
			Bewertung e _{ik}			x			
			Skala	sehr gering	gering	hoch	sehr hoch		Bemerkung zur Auswahl
			Erklärung	Mit aktueller personeller Kapazität realisierbar	Mit aktueller personeller Kapazität realisierbar durch Umpriorisierung von Projekten	Mit zeitlich begrenztem Mehraufwand der Mitarbeiter realisierbar	Mit aktueller personeller Kapazität nicht realisierbar, neue Mitarbeiter sind erforderlich		
Bewertung e _{ik}			x						
4	Wie ist der Kapazitätsbedarf bei der Erprobung unter den geforderten Randbedingungen (Stückzahl, Kundentermin) einzuschätzen?	16,0%	Skala	sehr gering	gering	hoch	sehr hoch		
			Erklärung	Mit aktueller personeller Kapazität realisierbar	Mit aktueller personeller Kapazität realisierbar durch Umpriorisierung von Projekten	Mit zeitlich begrenztem Mehraufwand der Mitarbeiter realisierbar	Mit aktueller personeller Kapazität nicht realisierbar, neue Mitarbeiter sind erforderlich		
			Bewertung e _{ik}			x			
			Skala	sehr gering	gering	hoch	sehr hoch		Bemerkung zur Auswahl
			Erklärung	0 € - 50.000 €	50.000 € - 150.000 €	150.000 € - 250.000 €	≥ 250.000 €		
Bewertung e _{ik}				x					
5	Wie sind die Kosten in der Erprobung zur Realisierung der Variante einzuschätzen?	10,1%	Skala	sehr gering	gering	hoch	sehr hoch		
			Bewertung e _{ik}				x		
6 Empfehlung		Ja							
		Summe der Gewichtungen gleich 100%							

Aktiv		Bitte auswählen							
		a _i = 23,2%							
J	Frage	Gewichtung c _i	Bewertung e _{ik}				Bemerkung zur Auswahl		
1	Wie ist der organisatorische Aufwand für die bestehenden Fertigungswerke des Produktionszweigs einzuschätzen?	13,9%	Skala	sehr gering	gering	hoch	sehr hoch		
			Erklärung	Sehr geringer organisatorischer Aufwand für die Fertigungswerke	Geringer organisatorischer Aufwand für die Fertigungswerke	Hoher organisatorischer Aufwand für die Fertigungswerke	Sehr hoher organisatorischer Aufwand für die Fertigungswerke		
			Bewertung e _{ik}			x			
			Skala	sehr gering	gering	hoch	sehr hoch		Bemerkung zur Auswahl
			Erklärung	Mit Fertigungsverfahren und -prozesse durch geringen Anpassungsaufwand realisierbar	Mit Fertigungsverfahren und -prozesse durch hohen Anpassungsaufwand realisierbar	Mit Fertigungsverfahren und -prozesse sind nicht bekannt			
Bewertung e _{ik}			x						
2	Wie ist der Aufwand zur Realisierung der Variante mit den Fertigungsverfahren und -prozessen einzuschätzen?	25,8%	Skala	sehr gering	gering	hoch	sehr hoch		
			Erklärung	Mit Fertigungsverfahren und -prozesse durch geringen Anpassungsaufwand realisierbar	Mit Fertigungsverfahren und -prozesse durch hohen Anpassungsaufwand realisierbar	Mit Fertigungsverfahren und -prozesse sind nicht bekannt			
			Bewertung e _{ik}			x			
			Skala	sehr gering	gering	hoch	sehr hoch		Bemerkung zur Auswahl
			Erklärung	Kundentermin ist realisierbar	Kundentermin ist realisierbar mit Umpriorisierung von Projekten	Kundentermin ist realisierbar mit Aufgaben	Kundentermin ist nicht realisierbar		
Bewertung e _{ik}			x						
3	Wie ist der Aufwand zur Realisierung des Kundentermins einzuschätzen?	17,7%	Skala	sehr gering	gering	hoch	sehr hoch		
			Erklärung	Kundentermin ist realisierbar	Kundentermin ist realisierbar mit Umpriorisierung von Projekten	Kundentermin ist realisierbar mit Aufgaben	Kundentermin ist nicht realisierbar		
			Bewertung e _{ik}			x			
			Skala	sehr gering	gering	hoch	sehr hoch		Bemerkung zur Auswahl
			Erklärung	Mit aktueller personeller Kapazität realisierbar	Mit aktueller personeller Kapazität realisierbar durch Umpriorisierung von Projekten	Mit zeitlich begrenztem Mehraufwand der Mitarbeiter realisierbar	Mit aktueller personeller Kapazität nicht realisierbar, neue Mitarbeiter sind erforderlich		
Bewertung e _{ik}			x						
4	Wie ist der Kapazitätsbedarf bei der Fertigung unter den geforderten Randbedingungen (Stückzahl, Kundentermin) einzuschätzen?	16,6%	Skala	sehr gering	gering	hoch	sehr hoch		
			Erklärung	Mit aktueller personeller Kapazität realisierbar	Mit aktueller personeller Kapazität realisierbar durch Umpriorisierung von Projekten	Mit zeitlich begrenztem Mehraufwand der Mitarbeiter realisierbar	Mit aktueller personeller Kapazität nicht realisierbar, neue Mitarbeiter sind erforderlich		
			Bewertung e _{ik}			x			
			Skala	sehr gering	gering	hoch	sehr hoch		Bemerkung zur Auswahl
			Erklärung	0 € - 100.000 €	100.000 € - 0,5 Mio. €	0,5 Mio. € - 2,5 Mio. €	≥ 2,5 Mio. €		
Bewertung e _{ik}				x					
5	Wie sind die Investitionen in der Fertigung zur Realisierung der Variante einzuschätzen?	28,0%	Skala	sehr gering	gering	hoch	sehr hoch		
			Bewertung e _{ik}				x		
6 Empfehlung		Nein							
		Summe der Gewichtungen gleich 100%							

Aktiv		Bitte auswählen					
		a ₁ = 15,0%		Bewertung e ₁			
Frage	Gewichtung c ₁	Skala	sehr gering	gering	hoch	sehr hoch	Bemerkung zur Auswahl
		1	8,2%	Erklärung	Lieferant ist für Neugeschäft geeignet	Lieferant ist für Neugeschäft geeignet, wird nicht präferiert	
		Bewertung e ₁		x			
2	26,3%	Skala	sehr gering	gering	hoch	sehr hoch	Bemerkung zur Auswahl
		Erklärung	Mit Fertigungsverfahren und prozesse beim Lieferanten realisierbar	Mit Fertigungsverfahren und prozesse beim Lieferanten durch geringen Anpassungsaufwand realisierbar	Fertigungsverfahren und prozesse sind beim Lieferanten nicht bekannt	Fertigungsverfahren und prozesse sind beim Lieferanten nicht bekannt	
		Bewertung e ₁			x		
3	26,0%	Skala	sehr gering	gering	hoch	sehr hoch	Bemerkung zur Auswahl
		Erklärung	Kundentermin ist realisierbar	Kundentermin ist realisierbar mit Umpriorisierung von Projekten	Kundentermin ist realisierbar mit Aufträgen	Kundentermin ist nicht realisierbar	
		Bewertung e ₁			x		
4	13,7%	Skala	sehr gering	gering	hoch	sehr hoch	Bemerkung zur Auswahl
		Erklärung	Mit aktueller personeller Kapazität realisierbar	Mit aktueller personeller Kapazität realisierbar durch Umpriorisierung von Projekten	Mit zeitlich begrenztem Mitarbeiter der Mitarbeiter realisierbar	Mit aktueller personeller Kapazität nicht realisierbar, neue Mitarbeiter sind erforderlich	
		Bewertung e ₁		x			
5	24,9%	Skala	sehr gering	gering	hoch	sehr hoch	Bemerkung zur Auswahl
		Erklärung	3 € - 10.000 €	10.000 € - 50.000 €	50.000 € - 1 Mio. €	≥ 1 Mio. €	
		Bewertung e ₁			x		
6 Empfehlung		ja					

Summe der Gewichtungen gleich 100%

Bewertungen der Bewertungselemente für V4

		a ₁ = 20,0%					
Frage	Gewichtung c ₁	Bewertung e ₁				Bemerkung zur Auswahl	
		Skala	sehr gering	gering	hoch		sehr hoch
1	21,6%	Erklärung	Kundenindividuelle Sonderfertigung ohne Marktpotential	Verringern oder Schließen einer Marktücke	Ähnliche Produkte sind beim Wettbewerber in Vorbereitung	Hohe Wettbewerbsfähigkeit und Potential zur Produktdiversifikation	
		Bewertung e ₁			x		
2	25,7%	Skala	sehr gering	gering	hoch	sehr hoch	Bemerkung zur Auswahl
		Erklärung	Kein präferierter Kunde	Bestandskunde, Neugeschäft wird nicht präferiert	Neukunde mit kommerziellem und technischem Potential	Strategischer Kunde	
		Bewertung e ₁				x	
3	6,5%	Skala	sehr gering	gering	hoch	sehr hoch	Bemerkung zur Auswahl
		Erklärung	Unkonkrete Kundenanforderungen mit häufigen Änderungen	Unkonkrete Kundenanforderungen mit wenigen Änderungen	Konkrete Kundenanforderungen mit wenigen Änderungen	Konkrete Kundenanforderungen mit wenigen/keinen Änderungen	
		Bewertung e ₁			x		
4	22,5%	Skala	sehr gering	gering	hoch	sehr hoch	Bemerkung zur Auswahl
		Erklärung	3 € - 50 Mio. €	50 Mio. € - 150 Mio. €	150 Mio. € - 250 Mio. €	≥ 250 Mio. €	
		Bewertung e ₁				x	
5	23,8%	Skala	sehr gering	gering	hoch	sehr hoch	Bemerkung zur Auswahl
		Erklärung	Nicht präferierte Integration, Plattform wird nicht präferiert	Aufwändige Integration, Plattform ist in Barienterfung	Eine einfache Integration, Bar der Plattformentwicklung ist erfolgt	Einfache Integration, Bar der Plattformentwicklung ist nicht erfolgt	
		Bewertung e ₁			x		
6 Empfehlung		ja					

Summe der Gewichtungen gleich 100%

Anhang

		a ₂ = 19,0%						
J	Frage	Gewichtung c _j	Bewertung e _{ik}					
			Skala	sehr gering	gering	hoch	sehr hoch	Bemerkung zur Auswahl
1	Wie viele Bausteine sind betroffen?	5,7%	Skala	0 - 1	2 - 3 Bausteile	4 - 5 Bausteile	≥ 6 Bausteile	
			Erklärung				x	
			Bewertung e _{1j}					
2	Wie ist der Entwicklungs- aufwand zur Realisierung der betroffenen Bausteile als Zusatz zur Plattform einzuschätzen?	18,0%	Skala	sehr gering	gering	hoch	sehr hoch	Bemerkung zur Auswahl
			Erklärung	0,5 - 1 Manntage	1 - 5 Manntage	5 - 10 Manntage	≥ 10 Manntage	
			Bewertung e _{2j}			x		
3	Wie ist der Aufwand zur Realisierung des Kundenterms einzuschätzen?	38,5%	Skala	sehr gering	gering	hoch	sehr hoch	Bemerkung zur Auswahl
			Erklärung	Kundentermin ist realisierbar	Kundentermin ist realisierbar mit Umpriorisierung von Projekten	Kundentermin ist realisierbar mit Aufgaben	Kundentermin ist nicht realisierbar	
			Bewertung e _{3j}				x	
4	Wie ist der Kapazitätsbedarf bei der Entwicklung unter den gegebenen Randbedingungen (Stückzahl, Kundentermin) einzuschätzen?	22,3%	Skala	sehr gering	gering	hoch	sehr hoch	Bemerkung zur Auswahl
			Erklärung	Mit aktueller personeller Kapazität realisierbar	Mit aktueller personeller Kapazität realisierbar durch Umriorisierung von Projekten	Mit zusätzlich begrenztem Mitarbeiteraufwand der Mitarbeiter realisierbar	Mit aktueller personeller Kapazität nicht realisierbar, neue Mitarbeiter sind erforderlich	
			Bewertung e _{4j}				x	
5	Wie sind die Entwicklungskosten zur Realisierung der Variante einzuschätzen?	15,0%	Skala	sehr gering	gering	hoch	sehr hoch	Bemerkung zur Auswahl
			Erklärung	0 - 100.000 €	100.000 € - 1 Mo. €	1 Mio. € - 2,5 Mo. €	≥ 2,5 Mo. €	
			Bewertung e _{5j}				x	
6	Empfehlung	Ja						

Summe der Gewichtungen gleich 100%.

		Bitte auswählen						
		a ₃ = 12,3%						
J	Frage	Gewichtung c _j	Bewertung e _{ik}					
			Skala	sehr gering	gering	hoch	sehr hoch	Bemerkung zur Auswahl
1	Wie ist der Aufwand zur Realisierung der Variante hinichtlich der Plattformprobung einzuschätzen?	29,0%	Skala	sehr gering	gering	hoch	sehr hoch	Bemerkung zur Auswahl
			Erklärung	Mit Plattformprobung realisierbar	Mit Plattformprobung durch geringen Anpassungsaufwand realisierbar	Mit Plattformprobung durch hohen Anpassungsaufwand realisierbar	Neue Plattformprobung ist erforderlich	
			Bewertung e _{1j}				x	
2	Wie ist der Aufwand zur technischen Realisierung der Variante mit der Prüf- und Mess-technik einzuschätzen?	18,1%	Skala	sehr gering	gering	hoch	sehr hoch	Bemerkung zur Auswahl
			Erklärung	Mit Prüf- und Mess-technik realisierbar	Mit Prüf- und Mess-technik durch geringen Anpassungsaufwand realisierbar	Mit Prüf- und Mess-technik, durch hohen Anpassungsaufwand realisierbar	Prüf- und Mess-technik sind nicht bekannt	
			Bewertung e _{2j}				x	
3	Wie ist der Aufwand zur Realisierung des Kundenterms einzuschätzen?	26,7%	Skala	sehr gering	gering	hoch	sehr hoch	Bemerkung zur Auswahl
			Erklärung	Kundentermin ist realisierbar	Kundentermin ist realisierbar mit Umriorisierung von Projekten	Kundentermin ist realisierbar mit Aufgaben	Kundentermin ist nicht realisierbar	
			Bewertung e _{3j}				x	
4	Wie ist der Kapazitätsbedarf bei der Erprobung unter den gegebenen Randbedingungen (Stückzahl, Kundentermin) einzuschätzen?	16,0%	Skala	sehr gering	gering	hoch	sehr hoch	Bemerkung zur Auswahl
			Erklärung	Mit aktueller personeller Kapazität realisierbar	Mit aktueller personeller Kapazität realisierbar durch Umriorisierung von Projekten	Mit zusätzlich begrenztem Mitarbeiteraufwand der Mitarbeiter realisierbar	Mit aktueller personeller Kapazität nicht realisierbar, neue Mitarbeiter sind erforderlich	
			Bewertung e _{4j}				x	
5	Wie sind die Kosten in der Erprobung zur Realisierung der Variante einzuschätzen?	10,1%	Skala	sehr gering	gering	hoch	sehr hoch	Bemerkung zur Auswahl
			Erklärung	0 € - 50.000 €	50.000 € - 150.000 €	150.000 € - 250.000 €	≥ 250.000 €	
			Bewertung e _{5j}				x	
6	Empfehlung	Ja						

Summe der Gewichtungen gleich 100%.

Aktiv		Bitte auswählen						
		a ₁ = 23,2%						
Frage	Gewichtung c ₁	Skala					Bewertung s ₁	Bemerkung zur Auswahl
1	Wie ist der organisatorische Aufwand für das betriebl. Fertigungswek des Produktionsnetzwerks einzuschätzen?	13,9%	Skala	sehr gering	gering	hoch	sehr hoch	
			Erklärung	Sehr geringer organisatorischer Aufwand für die Fertigungswek	Geringer organisatorischer Aufwand für die Fertigungswek	Hohes organisatorischer Aufwand für die Fertigungswek	Sehr hoher organisatorischer Aufwand für die Fertigungswek	
			Bewertung s ₁				x	
2	Wie ist der Aufwand zur technischen Realisierung der Variante mit den Fertigungsverfahren und -prozessen einzuschätzen?	25,8%	Skala	sehr gering	gering	hoch	sehr hoch	
			Erklärung	Mit Fertigungsverfahren und -prozesse realisierbar	Mit Fertigungsverfahren und -prozesse durch geringen Anpassungsaufwand realisierbar	Mit Fertigungsverfahren und -prozesse durch hohen Anpassungsaufwand realisierbar	Fertigungsverfahren und -prozesse sind nicht bekannt	
			Bewertung s ₁				x	
3	Wie ist der Aufwand zur Realisierung des Kundentermin einzuschätzen?	17,7%	Skala	sehr gering	gering	hoch	sehr hoch	
			Erklärung	Kundentermin ist realisierbar	Kundentermin ist realisierbar mit Umpriorisierung von Projekten	Kundentermin ist realisierbar	Kundentermin ist nicht realisierbar	
			Bewertung s ₁			x		
4	Wie ist der Kapazitätsbedarf bei den geforderten Randbedingungen (Stückzahl, Kundentermin) einzuschätzen?	16,6%	Skala	sehr gering	gering	hoch	sehr hoch	
			Erklärung	Mit aktueller personeller Kapazität realisierbar	Mit aktueller personeller Kapazität realisierbar durch Umpriorisierung von Projekten	Mit zusätzlich begrenztem Mehraufwand der Mitarbeiter realisierbar	Kapazität nicht realisierbar, neue Mitarbeiter sind erforderlich	
			Bewertung s ₁				x	
5	Wie sind die Investitionen in der Fertigung zur Realisierung der Variante einzuschätzen?	26,0%	Skala	sehr gering	gering	hoch	sehr hoch	
			Erklärung	5 € - 100.000 €	100.000 € - 0,5 Mio. €	0,5 Mio. € - 2,5 Mio. €	2,5 Mio. €	
			Bewertung s ₁				x	
6 Empfehlung		Ja						
Summe der Gewichtungen gleich 100%								

Aktiv		Bitte auswählen						
		a ₂ = 15,0%						
Frage	Gewichtung c ₂	Skala					Bewertung s ₂	Bemerkung zur Auswahl
1	Wie ist der Aufwand zur Realisierung der Variante im Rahmen der Lieferantenstrategie einzuschätzen?	8,2%	Skala	sehr gering	gering	hoch	sehr hoch	
			Erklärung	Lieferant ist für Neugeschäft geeignet	Lieferant ist für Neugeschäft geeignet, wird nicht priorisiert	Lieferant ist für Neugeschäft teilweise geeignet	Lieferant ist für Neugeschäft ungeeignet	
			Bewertung s ₂				x	
2	Wie ist der Aufwand zur technischen Realisierung der Variante mit den Fertigungsverfahren und -prozessen beim Zulieferer einzuschätzen?	26,3%	Skala	sehr gering	gering	hoch	sehr hoch	
			Erklärung	Mit Fertigungsverfahren und -prozesse beim Lieferanten realisierbar	Mit Fertigungsverfahren und -prozesse beim Lieferanten durch geringen Anpassungsaufwand realisierbar	Mit Fertigungsverfahren und -prozesse beim Lieferanten durch hohen Anpassungsaufwand realisierbar	Fertigungsverfahren und -prozesse sind beim Lieferanten nicht bekannt	
			Bewertung s ₂				x	
3	Wie ist der Aufwand zur Realisierung des Kundentermin beim Zulieferer einzuschätzen?	26,9%	Skala	sehr gering	gering	hoch	sehr hoch	
			Erklärung	Kundentermin ist realisierbar	Kundentermin ist realisierbar mit Umpriorisierung von Projekten	Kundentermin ist realisierbar	Kundentermin ist nicht realisierbar	
			Bewertung s ₂			x		
4	Wie ist der Kapazitätsbedarf beim Einkauf unter den geforderten Randbedingungen (Stückzahl, Kundentermin) einzuschätzen?	13,7%	Skala	sehr gering	gering	hoch	sehr hoch	
			Erklärung	Mit aktueller personeller Kapazität realisierbar	Mit aktueller personeller Kapazität realisierbar durch Umpriorisierung von Projekten	Mit zusätzlich begrenztem Mehraufwand der Mitarbeiter realisierbar	Kapazität nicht realisierbar, neue Mitarbeiter sind erforderlich	
			Bewertung s ₂				x	
5	Wie sind die Kosten beim Einkauf zur Realisierung der Variante einzuschätzen?	24,9%	Skala	sehr gering	gering	hoch	sehr hoch	
			Erklärung	5 € - 10.000 €	10.000 € - 50.000 €	50.000 € - 1 Mio. €	> 1 Mio. €	
			Bewertung s ₂				x	
6 Empfehlung		Nein						
Summe der Gewichtungen gleich 100%								

Paarweise Vergleiche für die Gewichtungen der CP3

Gewichtungen der Bewertungselemente (a)

		i=1	i=2	i=3	i=4	i=5	ΣS _i			i=1	i=2	i=3	i=4	i=5	ΣZ _i	a _i
Experte12	i=1	1	3	3	3	3	2 1/3	Experte12	i=1	0,43	0,53	0,23	0,53	0,29	2,01	40,2%
	i=2	1/3	1	3	1	3	5 2/3		i=2	0,14	0,18	0,23	0,18	0,29	1,02	20,3%
	i=3	1/3	1/3	1	1/3	1/3	13		i=3	0,14	0,06	0,08	0,06	0,03	0,37	7,4%
	i=4	1/3	1	3	1	3	5 2/3		i=4	0,14	0,18	0,23	0,18	0,29	1,02	20,3%
	i=5	1/3	1/3	3	1/3	1	10 1/3		i=5	0,14	0,06	0,23	0,06	0,10	0,59	11,8%
Experte14	i=1	1	1	1	1	1	5	Experte14	i=1	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	1,00	20,0%
	i=2	1	1	1	1	1	5		i=2	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	1,00	20,0%
	i=3	1	1	1	1	1	5		i=3	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	1,00	20,0%
	i=4	1	1	1	1	1	5		i=4	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	1,00	20,0%
	i=5	1	1	1	1	1	5		i=5	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	1,00	20,0%
Experte25	i=1	1	3	3	1	3	3	Experte25	i=1	0,33	0,43	0,27	0,23	0,47	1,74	34,8%
	i=2	1/3	1	1	1	1	7		i=2	0,11	0,14	0,09	0,23	0,16	0,73	14,7%
	i=3	1/3	1	1	1/3	1/3	11		i=3	0,11	0,14	0,09	0,08	0,05	0,47	9,5%
	i=4	1	1	3	1	1	4 1/3		i=4	0,33	0,14	0,27	0,23	0,16	1,14	22,8%
	i=5	1/3	1	3	1	1	6 1/3		i=5	0,11	0,14	0,27	0,23	0,16	0,92	18,3%
Experte28	i=1	1	1	3	1/3	1/3	8 1/3	Experte28	i=1	0,12	0,11	0,43	0,09	0,09	0,84	16,8%
	i=2	1	1	1	1/3	1/3	9		i=2	0,12	0,11	0,14	0,09	0,09	0,56	11,1%
	i=3	1/3	1	1	1	1	7		i=3	0,04	0,11	0,14	0,27	0,27	0,84	16,8%
	i=4	3	3	1	1	1	3 2/3		i=4	0,36	0,33	0,14	0,27	0,27	1,38	27,6%
	i=5	3	3	1	1	1	3 2/3		i=5	0,36	0,33	0,14	0,27	0,27	1,38	27,6%
Experte42	i=1	1	5	5	3	3	2	Experte42	i=1	0,48	0,38	0,56	0,47	0,47	2,37	47,4%
	i=2	1/5	1	1	1/3	1/3	13		i=2	0,10	0,08	0,11	0,05	0,05	0,39	7,8%
	i=3	1/5	1	1	1	1	9		i=3	0,10	0,08	0,11	0,16	0,16	0,60	12,0%
	i=4	1/3	3	1	1	1	6 1/3		i=4	0,16	0,23	0,11	0,16	0,16	0,82	16,4%
	i=5	1/3	3	1	1	1	6 1/3		i=5	0,16	0,23	0,11	0,16	0,16	0,82	16,4%
Experte48	i=1	1	5	5	3	3	2	Experte48	i=1	0,48	0,60	0,38	0,39	0,36	2,22	44,4%
	i=2	1/5	1	1	3	1	8 1/3		i=2	0,10	0,12	0,08	0,39	0,12	0,81	16,1%
	i=3	1/5	1	1	1/3	1/3	13		i=3	0,10	0,12	0,08	0,04	0,04	0,38	7,5%
	i=4	1/3	1/3	3	1	3	7 2/3		i=4	0,16	0,04	0,23	0,13	0,36	0,92	18,4%
	i=5	1/3	1	3	1/3	1	8 1/3		i=5	0,16	0,12	0,23	0,04	0,12	0,68	13,5%

Gewichtungen der Bewertungskriterien für das Bewertungselement *Produktstrategie* (i=1) (c_{1j})

		i=1	j=2	j=3	j=4	j=5	ΣS _{1j}			i=1	j=2	j=3	j=4	j=5	ΣZ _{1j}	c _{1j}
Experte25	i=1	1	1/3	3	3	3	5	Experte25	i=1	0,20	0,12	0,33	0,23	0,47	1,35	27,1%
	j=2	3	1	3	5	1	2 6/7		j=2	0,60	0,35	0,33	0,38	0,16	1,82	36,5%
	j=3	1/3	1/3	1	1	1	9		j=3	0,07	0,12	0,11	0,08	0,16	0,53	10,6%
	j=4	1/3	1/5	1	1	1/3	13		j=4	0,07	0,07	0,11	0,08	0,05	0,38	7,5%
	j=5	1/3	1	1	3	1	6 1/3		j=5	0,07	0,35	0,11	0,23	0,16	0,92	18,3%
Experte48	i=1	1	1	1	3	3	3 2/3	Experte48	i=1	0,27	0,29	0,13	0,20	0,36	1,26	25,1%
	j=2	1	1	5	5	1	3 2/5		j=2	0,27	0,29	0,65	0,33	0,12	1,67	33,4%
	j=3	1	1/5	1	3	3	7 2/3		j=3	0,27	0,06	0,13	0,20	0,36	1,02	20,4%
	j=4	1/3	1/5	1/3	1	1/3	15		j=4	0,09	0,06	0,04	0,07	0,04	0,30	6,0%
	j=5	1/3	1	1/3	3	1	8 1/3		j=5	0,09	0,29	0,04	0,20	0,12	0,75	15,0%

Gewichtungen der Bewertungskriterien für das Bewertungselement *Produkt-design* (i=2) (c₂)

		i=1	j=2	j=3	j=4	j=5	$\sum S_{2j}$						i=1	j=2	j=3	j=4	j=5	$\sum Z_{2i}$	c ₂
Experte12	i=1	1	1/3	1/5	1/3	1/3	15	Experte12	i=1	0,07	0,04	0,07	0,06	0,06	0,29	5,9%			
	j=2	3	1	1/3	1	1/3	8 1/3		j=2	0,20	0,12	0,12	0,18	0,06	0,67	13,4%			
	j=3	5	3	1	3	1	2 6/7		j=3	0,33	0,36	0,35	0,53	0,18	1,75	35,0%			
	j=4	3	1	1/3	1	3	5 2/3		j=4	0,20	0,12	0,12	0,18	0,53	1,14	22,8%			
	j=5	3	3	1	1/3	1	5 2/3		j=5	0,20	0,36	0,35	0,06	0,18	1,14	22,9%			
Experte14	i=1	1	1/3	1/5	1/3	1/5	17	Experte14	i=1	0,06	0,08	0,05	0,08	0,05	0,31	6,2%			
	j=2	3	1	1	1	1	4 1/3		j=2	0,18	0,23	0,24	0,23	0,24	1,11	22,3%			
	j=3	5	1	1	1	1	4 1/5		j=3	0,29	0,23	0,24	0,23	0,24	1,23	24,6%			
	j=4	3	1	1	1	1	4 1/3		j=4	0,18	0,23	0,24	0,23	0,24	1,11	22,3%			
	j=5	5	1	1	1	1	4 1/5		j=5	0,29	0,23	0,24	0,23	0,24	1,23	24,6%			
Experte25	i=1	1	1/3	3	3	3	5	Experte25	i=1	0,20	0,11	0,39	0,27	0,33	1,31	26,2%			
	j=2	3	1	3	3	1	3		j=2	0,60	0,33	0,39	0,27	0,11	1,71	34,2%			
	j=3	1/3	1/3	1	3	3	7 2/3		j=3	0,07	0,11	0,13	0,27	0,33	0,91	18,3%			
	j=4	1/3	1/3	1/3	1	1	11		j=4	0,07	0,11	0,04	0,09	0,11	0,42	8,5%			
	j=5	1/3	1	1/3	1	1	9		j=5	0,07	0,33	0,04	0,09	0,11	0,65	12,9%			

**Gewichtungen der Bewertungskriterien für das Bewertungselement *Erpro-
bungskonzept* (i=3) (c₃)**

		j=1	j=2	j=3	j=4	j=5	$\sum S_{3j}$						j=1	j=2	j=3	j=4	j=5	$\sum Z_{3i}$	c ₃
Experte14	i=1	1	1/3	1/5	1/3	1/5	17	Experte14	i=1	0,06	0,08	0,05	0,08	0,05	0,31	6,2%			
	j=2	3	1	1	1	1	4 1/3		j=2	0,18	0,23	0,24	0,23	0,24	1,11	22,3%			
	j=3	5	1	1	1	1	4 1/5		j=3	0,29	0,23	0,24	0,23	0,24	1,23	24,6%			
	j=4	3	1	1	1	1	4 1/3		j=4	0,18	0,23	0,24	0,23	0,24	1,11	22,3%			
	j=5	5	1	1	1	1	4 1/5		j=5	0,29	0,23	0,24	0,23	0,24	1,23	24,6%			
Experte25	i=1	1	1/5	1/5	3	3	11 2/3	Experte25	i=1	0,09	0,06	0,07	0,23	0,33	0,78	15,6%			
	j=2	5	1	1	5	1	3 2/5		j=2	0,43	0,29	0,35	0,38	0,11	1,57	31,3%			
	j=3	5	1	1	3	3	2 7/8		j=3	0,43	0,29	0,35	0,23	0,33	1,64	32,7%			
	j=4	1/3	1/5	1/3	1	1	13		j=4	0,03	0,06	0,12	0,08	0,11	0,39	7,9%			
	j=5	1/3	1	1/3	1	1	9		j=5	0,03	0,29	0,12	0,08	0,11	0,63	12,5%			

**Gewichtungen der Bewertungskriterien für das Bewertungselement *Ferti-
gungskonzept* (i=4) (c₄)**

		i=1	j=2	j=3	j=4	j=5	$\sum S_{4j}$						i=1	j=2	j=3	j=4	j=5	$\sum Z_{4i}$	c ₄
Experte25	i=1	1	1/5	1/5	1/5	1/5	21	Experte25	i=1	0,05	0,01	0,08	0,02	0,08	0,23	4,6%			
	j=2	5	1	1/5	1/5	1/5	16 1/5		j=2	0,24	0,06	0,08	0,02	0,08	0,47	9,4%			
	j=3	5	5	1	5	1	2 3/5		j=3	0,24	0,31	0,38	0,44	0,38	1,75	35,1%			
	j=4	5	5	1/5	1	1/5	11 2/5		j=4	0,24	0,31	0,08	0,09	0,08	0,79	15,8%			
	j=5	5	5	1	5	1	2 3/5		j=5	0,24	0,31	0,38	0,44	0,38	1,75	35,1%			
Experte26	i=1	1	1/5	1/5	1	1	13	Experte26	i=1	0,08	0,04	0,09	0,11	0,14	0,46	9,2%			
	j=2	5	1	1/3	3	1	5 1/2		j=2	0,38	0,18	0,15	0,33	0,14	1,19	23,9%			
	j=3	5	3	1	3	3	2 1/5		j=3	0,38	0,54	0,45	0,33	0,43	2,14	42,9%			
	j=4	1	1/3	1/3	1	1	9		j=4	0,08	0,06	0,15	0,11	0,14	0,54	10,9%			
	j=5	1	1	1/3	1	1	7		j=5	0,08	0,18	0,15	0,11	0,14	0,66	13,3%			

Gewichtungen der Bewertungskriterien für das Bewertungselement *Beschafungskonzept* (i=5) (c_{5j})

		i=1	j=2	j=3	j=4	j=5	ΣS _{5j}			i=1	j=2	j=3	j=4	j=5	ΣZ _{5j}	c _{5j}
Experte25	i=1	1	5	1	3	3	2 7/8	Experte26	i=1	0,35	0,60	0,27	0,27	0,33	1,83	36,6%
	j=2	1/5	1	1	3	1	8 1/3		j=2	0,07	0,12	0,27	0,27	0,11	0,85	16,9%
	j=3	1	1	1	3	3	3 2/3		j=3	0,35	0,12	0,27	0,27	0,33	1,35	27,0%
	j=4	1/3	1/3	1/3	1	1	11		j=4	0,12	0,04	0,09	0,09	0,11	0,45	9,0%
	j=5	1/3	1	1/3	1	1	9		j=5	0,12	0,12	0,09	0,09	0,11	0,53	10,6%
Experte42	i=1	1	1/3	1/3	1/3	1/3	13	Experte43	i=1	0,08	0,07	0,03	0,06	0,09	0,33	6,5%
	j=2	3	1	5	3	1/3	4 6/7		j=2	0,23	0,21	0,48	0,53	0,09	1,54	30,8%
	j=3	3	1/5	1	1/3	1	10 1/3		j=3	0,23	0,04	0,10	0,06	0,27	0,70	14,0%
	j=4	3	1/3	3	1	1	5 2/3		j=4	0,23	0,07	0,29	0,18	0,27	1,04	20,8%
	j=5	3	3	1	1	1	3 2/3		j=5	0,23	0,62	0,10	0,18	0,27	1,39	27,9%

Fragebogenstudie: Evaluation der Bewertungssystematik und des Tools

Liebe Kollegen,

im Auftrag des technischen Leiters und des Bereichsleiter des internationalen Produktionsnetzwerks für Common-Rail Pumpen beschäftige ich mich als Doktorandin mit dem Thema *Umgang mit Variantenvielfalt der Common-Rail Pumpen*. Mit diesem Fragebogen möchte ich die entwickelte Systematik zur Bewertung von Varianten in der Angebotsphase und das Tool SPRYness evaluieren. Alle Mitarbeiter, die bei der Entwicklung der Systematik und bei der Umsetzung der Systematik als das Tool SPRYness unterstützt haben, sowie ausgewählte potentielle Anwender des Tools SPRYness erhalten den Fragebogen mit der Bitte diesen wahrheitsgetreu und sorgfältig auszufüllen.

Dauer: ca. 10 - 15 Minuten
 Abgabefrist: 30.11.2018 per Hauspost an Fr. Peglow
 Ziel: Evaluation der Systematik und des Tools SPRYness im Rahmen der Doktorarbeit von Fr. Peglow
 Verwendung: Die Ergebnisse werden vertraulich behandelt und dienen ausschließlich der wissenschaftlichen Analyse sowie zur Verbesserung der Systematik und des Tools SPRYness.

Danke vorab,
 Mit freundlichen Grüßen,
 Natalie Peglow

1 Allgemeine Angaben							
1.a	Sind Sie Bereichsleiter & höher?		Ja			Nein	
1.b	Sofern Sie kein Bereichsleiter & höher sind: Welchem Fachbereich ist ihre derzeitige Tätigkeitsbeschreibung zugeordnet?		Produktentwicklung			Fertigung	
			Einkauf			Produktmanagement	
			Sonstige				
		stimme völlig zu	stimme zu	teils / teils	stimme nicht zu	stimme gar nicht zu	keine Angabe
2 Kennzahlgestützte Bewertung							
2.a	Der EEF kann als Entscheidungsgrundlage einer angefragten Variante vor der ökonomischen systematisch unterstützen.						
2.b	Bei der EEF-Berechnung werden involvierte Fachbereiche ausreichend berücksichtigt.						
3 Nachvollziehbarkeit der Bewertung							
3.a	Das Vorgehen zur Bewertung der Bewertungselemente ist nachvollziehbar.						
3.b	Das Bewertungsergebnis ist innerhalb von SPRYness nachvollziehbar dargestellt.						
3.c	Mit der Systematik kann die Variantenentstehung im Bewertungsprozess nachvollziehbarer werden.						
4 Transparenz der Bewertung							
4.a	Der Bewertungsfortschritt ist innerhalb von SPRYness transparent.						
4.b	Mit der Systematik kann die Bewertung von Varianten transparenter werden.						
4.c	Mit der Systematik ist eine transparentere Variantenentstehung möglich.						
5 Anwendererlebnis bei Anwendung von SPRYness							
5.a	Innerhalb von SPRYness ist eine intuitive und optisch ansprechende Bedienung realisiert.						
6 Akzeptanz und Anwendbarkeit der Systematik							
6.a	Die Systematik wird mich in meiner Arbeit mit Varianten (abhängig von meiner Funktion) zielgerichtet unterstützen.						
6.b	Ich werde die Systematik in meine Arbeit mit Varianten (abhängig von meiner Funktion) anwenden.						
7 Standardisierung und Flexibilität bei der Bewertung							
7.a	Unter anderem wird mit der Systematik ein definierter Bewertungsprozess neuer Varianten sichergestellt.						
7.b	Mit der Systematik wird eine einheitliche Bewertung von Varianten vor der ökonomischen sichergestellt.						
7.c	Mit der Systematik kann der Bewertungsprozess ausreichend flexibel gewählt werden.						
8 Entwicklung der Systematik							
8.a	Bei der Entwicklung der Systematik wurde das bestehende Wissen der involvierten Fachbereiche über CP ausreichend berücksichtigt.						
8.b	Bei der Entwicklung der Systematik wurden bestehende Prozess-definitionen der Forschungsumgebung ausreichend übernommen.						
8.c	Bei der Entwicklung der Systematik wurden verfügbare Methoden und Tools der Forschungsumgebung ausreichend integriert.						
9 Übertragbarkeit der Systematik							
9.a	Der Bedarf an einer solchen Systematik existiert auch bei weiteren Produkten der automobilen Zulieferindustrie.						
9.b	Die Systematik kann unter Beachtung individueller Anpassungen auf weitere Produkte übertragen werden.						
9.c	Die Systematik kann unter Beachtung individueller Anpassungen auf weitere Phasen des Produktlebenszyklus übertragen werden.						
9.d	Auf welche weitere(n) Produkte / Produktgenerationen kann die Systematik potentiell übertragen werden?						
10 Umgang mit Variantenvielfalt und Komplexität							
10.a	Die Systematik kann langfristig dabei unterstützen einen zielgerichteten Umgang mit Variantenvielfalt sicherzustellen.						
10.b	Mit der Systematik kann die Komplexität hinsichtlich dem Umgang mit Variantenvielfalt reduziert werden.						
11 Anmerkungen und Vorschläge							
11.a	Anmerkungen und Vorschläge zur Weiterentwicklung von SPRYness:						

Relative Häufigkeiten zu den Antwortoptionen der Aussagen

	stimme völlig zu	stimme zu	teils / teils	stimme nicht zu	stimme gar nicht zu	keine Angabe	
2 Kennzahlgestützte Bewertung							
2.a	Der EEF kann als Entscheidungsgrundlage einer angefragten Variante vor der ökonomischen Bewertung systematisch unterstützen.	22,9%	45,7%	11,4%	0,0%	0,0%	20,0%
2.b	Bei der EEF-Berechnung werden involvierte Fachbereiche ausreichend berücksichtigt.	31,4%	42,9%	5,7%	0,0%	0,0%	20,0%
3 Nachvollziehbarkeit der Bewertung							
3.a	Das Vorgehen zur Bewertung der Bewertungselemente ist nachvollziehbar.	37,1%	31,4%	11,4%	0,0%	0,0%	20,0%
3.b	Das Bewertungsergebnis ist innerhalb von SPRYness nachvollziehbar dargestellt.	40,0%	40,0%	5,7%	2,9%	0,0%	11,4%
3.c	Mit der Systematik kann die Variantenentstehung im Bewertungsprozess nachvollziehbarer werden.	22,9%	48,6%	5,7%	2,9%	0,0%	20,0%
4 Transparenz der Bewertung							
4.a	Der Bewertungsfortschritt ist innerhalb von SPRYness transparent.	34,3%	48,6%	5,7%	0,0%	0,0%	11,4%
4.b	Mit der Systematik kann die Bewertung von Varianten transparenter werden.	34,3%	51,4%	2,9%	0,0%	0,0%	11,4%
4.c	Mit der Systematik ist eine transparentere Variantenentstehung möglich.	31,4%	45,7%	8,6%	0,0%	0,0%	14,3%
5 Anwendererlebnis bei Anwendung von SPRYness							
5.a	Innerhalb von SPRYness ist eine intuitive und optisch ansprechende Bedienung realisiert.	20,0%	40,0%	8,6%	0,0%	0,0%	31,4%
6 Akzeptanz und Anwendbarkeit der Systematik							
6.a	Die Systematik wird mich in meiner Arbeit mit Varianten (abhängig von meiner Funktion) zielgerichtet unterstützen.	11,4%	34,3%	14,3%	2,9%	2,9%	34,3%
6.b	Ich werde die Systematik in meine Arbeit mit Varianten (abhängig von meiner Funktion) anwenden.	17,1%	40,0%	8,6%	5,7%	2,9%	25,7%
7 Standardisierung und Flexibilität bei der Bewertung							
7.a	Unter anderem wird mit der Systematik ein definierter Bewertungsprozess neuer Varianten sichergestellt.	34,3%	48,6%	11,4%	0,0%	0,0%	5,7%
7.b	Mit der Systematik wird eine einheitliche Bewertung von Varianten vor der ökonomischen Bewertung sichergestellt.	48,6%	40,0%	5,7%	0,0%	0,0%	5,7%
7.c	Mit der Systematik kann der Bewertungsprozess ausreichend flexibel gewählt werden.	20,0%	54,3%	11,4%	0,0%	0,0%	14,3%
8 Entwicklung der Systematik							
8.a	Bei der Entwicklung der Systematik wurde das bestehende Wissen der involvierten Fachbereiche über CP ausreichend berücksichtigt.	28,6%	54,3%	2,9%	0,0%	0,0%	14,3%
8.b	Bei der Entwicklung der Systematik wurden bestehende Prozessdefinitionen der Forschungsumgebung ausreichend übernommen.	31,4%	42,9%	2,9%	0,0%	0,0%	22,9%
8.c	Bei der Entwicklung der Systematik wurden verfügbare Methoden und Tools der Forschungsumgebung ausreichend integriert.	14,3%	34,3%	5,7%	2,9%	0,0%	42,9%
9 Übertragbarkeit der Systematik							
9.a	Der Bedarf an einer solchen Systematik existiert auch bei weiteren Produkten der automobilen Zulieferindustrie.	57,1%	31,4%	0,0%	0,0%	0,0%	11,4%
9.b	Die Systematik kann unter Beachtung individueller Anpassungen auf weitere Produkte übertragen werden.	57,1%	37,1%	2,9%	0,0%	0,0%	2,9%
9.c	Die Systematik kann unter Beachtung individueller Anpassungen auf weitere Phasen des Produktlebenszyklus übertragen werden.	17,1%	37,1%	20,0%	8,6%	5,7%	11,4%
10 Umgang mit Variantenvielfalt und Komplexität							
10.a	Die Systematik kann langfristig dabei unterstützen einen zielgerichteten Umgang mit Variantenvielfalt sicherzustellen.	28,6%	48,6%	17,1%	0,0%	0,0%	5,7%
10.b	Mit der Systematik kann die Komplexität hinsichtlich dem Umgang mit Variantenvielfalt reduziert werden.	25,7%	31,4%	20,0%	11,4%	0,0%	11,4%

Lebenslauf

Persönliche Daten

Name: Natalie Marion Elisabeth Peglow
Geburtsdatum: 20. Mai 1990
Staatsangehörigkeit: deutsch
Familienstand: verheiratet

Bildungsgang

2000 – 2009 Friedrich-Schiller-Gymnasium Marbach am Neckar
Abschluss: Allgemeine Hochschulreife
2009 – 2013 Studium des Wirtschaftsingenieurwesens am Karlsruher
Institut für Technologie
Abschluss: Bachelor of Science
2013 – 2016 Studium des Wirtschaftsingenieurwesens am Karlsruher
Institut für Technologie
Abschluss: Master of Science
2016 – 2019 Doktorarbeit am Institut für Produktentwicklung des
Karlsruher Instituts für Technologie in Kooperation mit der
Robert Bosch GmbH in Stuttgart-Feuerbach

Berufstätigkeit

08/2020 – heute Kundenprojektleiterin für Inertialsensoren bei der Bosch
Sensortec GmbH in Reutlingen
Bereich: Entwicklung/Erprobung
06/2019 – 07/2020 Fertigungs Koordinatorin für die Leistungselektronik bei der
Robert Bosch GmbH in Reutlingen
Bereich: Internationale Fertigungsplanung
07/2015 – 12/2015 Masterarbeit bei der Bosch Rexroth AG in Lohr am Main
Bereich: Industrial Engineering
06/2013 – 05/2015 Hilfwissenschaftliche Mitarbeiterin am Institut für
Produktionstechnik des Karlsruher Instituts für Technologie
Bereich: Fertigungs- und Werkstofftechnik
06/2014 – 07/2017 Praktikum bei Bosch Ltd. in Nashik, Indien
Bereich: Technisches Werksmanagement
09/2012 – 12/2012 Bachelorarbeit bei der Robert Bosch GmbH in Bamberg
Bereich: Fertigung