

Alexander Kubin

Beitrag zu Advanced Systems Engineering in der Sportwagenentwicklung: Spezifizieren von Zielen und Anforderungen anhand von Bedarfen

Contribution to Advanced Systems Engineering in
Sports Car Development: Specifying Objectives
and Requirements based on Stakeholder Needs

Band 185

Systeme ▪ Methoden ▪ Prozesse

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. A. Albers
Univ.-Prof. Dr.-Ing. S. Matthiesen
(Hrsg.)

Alexander Kubin

Beitrag zu Advanced Systems Engineering in der Sportwagenentwicklung: Spezifizieren von Zielen und Anforderungen anhand von Bedarfen

Contribution to Advanced Systems Engineering in Sports Car Development: Specifying Objectives and Requirements based on Stakeholder Needs

Band 185

Herausgeber Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. A. Albers
Univ.-Prof. Dr.-Ing. S. Matthiesen

Copyright IPEK - Institut für Produktentwicklung, 2025
 Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
 Die Forschungsuniversität in der Helmholtz-Gemeinschaft
 Alle Rechte vorbehalten

ISSN 1615-8113

Beitrag zu Advanced Systems Engineering in der Sportwagenentwicklung: Spezifizieren von Zielen und Anforderungen anhand von Bedarfen

Zur Erlangung des akademischen Grades eines
DOKTORS DER INGENIEURWISSENSCHAFTEN (Dr.-Ing.)
von der KIT-Fakultät für Maschinenbau des
Karlsruher Instituts für Technologie (KIT)

angenommene

DISSERTATION

von

Alexander Kubin, M. Sc.

Tag der mündlichen Prüfung: 06.03.2025

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

Korreferent: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Nikola Bursac

Vorwort der Herausgeber

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 komplett 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

* Eh.: Institut für Maschinenkonstruktionslehre und Kraftfahrzeugbau, Universität Karlsruhe (TH)

Vorwort zu Band 185

In der Automobilentwicklung ergibt sich, wie auch in anderen Bereichen, eine zunehmende Komplexität der Bedarfssituation. Diese wird getrieben durch Megatrends wie die Digitalisierung, Globalisierung und Nachhaltigkeit. Diese Trends führen zu einer wachsenden Anzahl von Anforderungen seitens verschiedener Stakeholder, die sich dann wiederum in vielschichtigen Abhängigkeiten manifestieren. Auch die Integration neuer Technologien und zunehmende gesetzliche Vorgaben im Bereich der Fahrzeugentwicklung machen die Notwendigkeit einer präzisen Spezifikation und Steuerung der Entwicklungsprozesse evident.

Produkte werden in Generationen entwickelt. Dieses Grundparadigma der KaSPro – Karlsruher Schule für Produktentwicklung, das auch die Basis des Modells der PGE – Produktgenerationsentwicklung, bzw. der SGE – Systemgenerationsentwicklung nach ALBERS bildet, bestätigt sich in allen Bereichen der Systemsynthese. Wissenschaftliche Arbeiten im Bereich des Einzel- und Sondermaschinenbaus haben genauso die Gültigkeit gezeigt, wie die Forschung zu diesem Thema im Bereich der Investitionsgüter- und Werkzeugmaschinenindustrie sowie natürlich auch im Bereich des Fahrzeugbaus und der Konsumgüterindustrie. Diese grundlegende Tatsache gilt auch für die Entwicklung völlig neuer Produkte oder Systeme, die oft als disruptiv oder erstmalig und völlig neu charakterisiert werden. Auch hier zeigt die Forschung, dass diese sogenannten Neuentwicklungen nur Sonderfälle der Systemgenerationsentwicklung sind. Auch diese basieren, wie alle anderen Entwicklungen, auf einem sogenannten Referenzsystem, in dem Referenzsystemelemente zusammengestellt werden, aus denen durch gezielte Variation die neue Lösung erarbeitet wird. Der einzige Unterschied bei einer in der Ontologie der PGE / SGE sogenannten „*Generation 1 (G1 -)Entwicklung*“ ist, dass es keinen direkten Architekturvorgänger auf der Gesamtsystemebene gibt. Besonders im Kontext der Automobilentwicklung lässt sich dieser grundlegende Zusammenhang sehr schön aufzeigen. Berühmtes Beispiel ist hier der Porsche 911, ein Fahrzeug in der Klasse der Hochleistungs-Sportfahrzeuge, das seit mehr als 60 Jahren auf dem Markt ist, mittlerweile in der achten Generation vertrieben wird und dessen Erfolg immer noch darauf basiert, dass die ursprünglichen Gestalt- und Designkonzepte, wie eine kontinuierliche Genetik in den jeweiligen neuen Fahrzeuggenerationen aufgenommen und weiter verfeinert wurden und werden. Dabei haben sich natürlich die Teilsysteme – wie Antriebe, Fahrwerke, oder auch die Mechatronisierung – in den 60 Jahren rasant fortentwickelt. Dies beruht auf der Erfüllung von immer neuen Kundenerwartungen und -bedarfen aber auch Bedarfen anderer Stakeholder, wie zum Beispiel dem Gesetzgeber. Die Grundlage eines jeden Entwicklungsprojektes ist in dem sogenannten *ZHO-Modell* der KaSPro das Zielsystem, in dem Ziele, Anforderungen und Randbedingungen der jeweiligen Produktgeneration erfasst und beschrieben werden. Die Entwicklung und Gestaltung, die

Definition, Findung und Spezifikation der Ziele und Anforderungen ist dabei ein hoch kreativer Prozess, der ganz wesentlich den späteren Erfolg des entwickelten Produktes oder Systems bestimmt. Die Zielsystemgestaltung ist also eine Kernaufgabe in der modernen Produktentwicklung. An dieser Stelle setzt die Arbeit von Herrn Dr.-Ing. Alexander Kubin an. Er hat im Rahmen seiner wissenschaftlichen Arbeit eine Methodik zur strukturierten Entwicklung und Spezifikation von Zielen und Anforderungen anhand von Bedarfen zu erforscht. Die Arbeit liegt damit im Kern der Forschung der KaSPro und leistet einen wichtigen Beitrag in der Forschung an neuen Methoden und Prozessen in der Produktentstehung. Gleichzeitig liefert sie aber auch Lösungsansätze für die Entwicklungspraxis.

März, 2025

Albert Albers

Kurzfassung

Die zu berücksichtigende Bedarfssituation im Rahmen der Entwicklung zukünftiger Fahrzeuggenerationen wird zunehmend komplexer: Megatrends wie Digitalisierung, Globalisierung und Nachhaltigkeit sowie eine verstärkte Berücksichtigung von Wachstumsmärkten mit einer Vielzahl von kulturellen Trends und Prioritäten führen zu einer steigenden Anzahl an Bedarfen seitens der verschiedenen Stakeholder. Gleichzeitig resultiert der Einsatz neuer Schlüsseltechnologien, wie z.B. der Elektromobilität und der digitalen Vernetzung in vielschichtigen Abhängigkeiten. Die konsequente Orientierung an den Bedarfen im Entwicklungsprozess wird demzufolge zum zentralen Erfolgsfaktor für Automobilhersteller. Um eine solche Bedarfsorientierung zu realisieren ist ein nachvollziehbares Spezifizieren der Ziele und Anforderungen anhand von Bedarfen essenziell. Zur Unterstützung bieten sich aufgrund der steigenden Entwicklungskomplexität Prozesse und Methoden des Systems Engineerings an. Darüber hinaus können durch Ansätze des Advanced Engineering, wie z.B. das Modell der SGE – Systemgenerationsentwicklung nach ALBERS, weitere Potenziale gehoben werden. Da es an geeigneter prozessualer und methodischer Unterstützung fehlt stellt sich die folgende Frage: Wie können Produktentwickelnde beim Spezifizieren von Zielen und Anforderungen anhand von Bedarfen vor dem Leitbild Advanced Systems Engineering unterstützt werden?

In der vorliegenden Arbeit wird daher, auf Grundlage der KaSPro – Karlsruher Schule für Produktentwicklung, das Spezifizieren von Zielen und Anforderungen anhand von Bedarfen in Praxis und Literatur untersucht, in einer dreiteiligen Systematik synthetisiert sowie in der Entwicklungspraxis angewandt und evaluiert. Der erste Bestandteil der präskriptiven Systematik fokussiert auf ein (systemgenerationsübergreifendes) Bedarfs-, Ziel- und Anforderungsverständnis. Im Zuge dessen wird eine formale Definition von Stakeholder-Bedarfen in Abgrenzung zu Zielen und Anforderungen eingeführt. Darauf aufbauend wird die Variation von Bedarfen, Zielen und Anforderungen im Modell der SGE beschrieben. Den zweiten Kernbestandteil bildet ein Referenzprozess, der in zwei Phasen das Zusammenspiel von Bedarfen, Zielen und Anforderungen strukturiert. Die Anwendung dieser prozessualen Unterstützung wird durch den sogenannten Spezifizierungs-Steckbrief methodisch unterstützt. Komplettiert wird die Systematik durch einen Referenzprozess, der die Wiederverwendung von Zielen und Anforderungen auf Basis von Bedarfen anhand von vier iterativen Phasen beschreibt. Die Evaluation der prozessualen und methodischen Unterstützung erfolgt sowohl in der Sportwagenentwicklung als auch bei einem Werkzeugmaschinenhersteller und im Rahmen des Live-Labs ProVIL – Produktentwicklung im virtuellen Ideenlabor. Die Evaluationsergebnisse und -erkenntnisse bestätigen die Anwendbarkeit der Systematik und zeigen initial einen Erfolgsbeitrag auf.

Abstract

The needs situation to be taken into account in the development of future vehicle generations is becoming significantly more complex: Megatrends such as digitalization, globalization and sustainability, as well as an increased consideration of growth markets with a diverse spectrum of trends and interests, are leading to a rising number of needs from various stakeholders. At the same time, the implementation of new key technologies, such as electromobility and digital interconnectivity, results in multi-layered dependencies. Consequently, a consistent orientation towards the needs in the development process is becoming a key success factor for automotive manufacturers. In order to implement such a needs orientation, it is essential to transparently specify the objectives and requirements based on the needs. To support this increasing development complexity, Systems Engineering processes and methods can be applied. In addition, further potential can be leveraged through Advanced Engineering approaches, such as the model of SGE – System Generation Engineering according to ALBERS. Since there is a lack of suitable procedural and methodological support, the following question arises: how can product developers be supported in specifying objectives and requirements based on needs in accordance with the guiding principle of Advanced Systems Engineering?

In the presented research, based on the KaSPro – Karlsruhe School for Product Development, the specifying of objectives and requirements based on needs is analyzed in practice and literature, synthesized in a three-part systematic as well as applied and evaluated in development practice. The first component of the prescriptive systematic focuses on an understanding of needs, objectives and requirements across product generations. For this purpose, a formal definition of stakeholder needs in distinction to objectives and requirements is introduced. Based on this, the variation of needs, objectives, and requirements in the model of SGE is described. The second core component is a reference process that structures the interaction of needs, objectives, and requirements in two phases. The application of this procedural support is methodologically supported by the so-called specifying template. The systematic is completed by a reference process that describes the reuse of objectives and requirements on the basis of needs using four iterative phases. The evaluation of the procedural and methodological support is carried out in sports car development as well as at a machine tool manufacturer and within the live lab ProVIL – Product Development in the Virtual Idea Lab. The evaluation results and findings confirm the applicability of the systematic approach and initially show a contribution to success.

Danksagung

Die vorliegende Forschungsarbeit entstand im Rahmen eines Kooperationsprojekts zwischen dem IPEK – Institut für Projektentwicklung des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT) und der Dr. Ing. h.c. F. Porsche AG. Während dieser Zeit war ich als wissenschaftlicher Mitarbeiter am IPEK und als Entwicklungsingenieur im Anforderungsmanagement bei Porsche tätig. An dieser Stelle möchte ich mich herzlich bei denjenigen Menschen bedanken, die mich im Zuge der Forschungsarbeit und bei der Anfertigung der Dissertation unterstützt haben.

Mein besonderer Dank gebührt meinem Doktorvater Herrn Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. Albert Albers für die Ermöglichung und Betreuung der Arbeit. Die inspirierenden wissenschaftlichen Gespräche sowie das konstruktive Umfeld, das er am IPEK geschaffen hat, trugen maßgeblich zum Gelingen dieser Arbeit bei. Herzlich danken möchte ich ihm auch für das entgegengesetzte Vertrauen, die Forschung am IPEK, insbesondere am Modell der SGE, mitgestalten zu dürfen. Für die Übernahme des Korreferats und die wertvollen Anregungen am Ende meines Promotionsprojekts danke ich Herrn Univ.-Prof. Dr.-Ing. Nikola Bursac. Ebenso bedanke ich mich bei Herrn Univ.-Prof. Dr. sc. techn. Thomas Koch für den Prüfungsvorsitz.

Außerordentlich bedanken möchte ich mich bei Herrn Dr.-Ing. Dr. rer. pol. Hansjörg Maier für die Ermöglichung und Porsche-seitige Betreuung der Forschungsarbeit sowie die allgegenwärtige inhaltliche, wissenschaftliche und persönliche Unterstützung. Meinen Abteilungsleitern Herrn Knuth Walczak und Herrn Wolfgang Niedecken danke ich für die Ermöglichung der Arbeit sowie die notwendigen Freiräume im Arbeitsalltag. Ganz besonders danke ich den Kolleg*innen in der Forschungsgruppe Advanced Systems Engineering und bei Porsche für die unzähligen methodischen Diskussionen und die wertvollen Impulse. Besonders hervorheben möchte ich Frau Dr.-Ing. Katharina Ritzer sowie die Herren Dr.-Ing. Nicolas Heitger, Dr.-Ing. Simon Rapp, Steffen Wagenmann, Constantin Mandel und Sebastian Hünemeyer. Einen großen Dank richte ich zudem an alle Abschlussarbeitenden die ich betreuen durfte: Sandra, Alexej, Philippe, Fabio, Manuel und Melih.

Mein abschließend größter Dank gilt meiner Familie, insbesondere meinen Eltern Maria und Horst für die Förderung und Unterstützung in allen Dimensionen. Ohne Euch wäre diese Arbeit nicht in dieser Form zustande gekommen.

Karlsruhe, den 06.03.2025

Alexander Kubin

The best way to predict your future is to create it.

Abraham Lincoln

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung	i
Abstract	iii
Abbildungsverzeichnis.....	xiii
Tabellenverzeichnis.....	xvii
Abkürzungsverzeichnis.....	xix
Formelzeichen.....	xxiii
1 Einleitung	1
1.1 Motivation	2
1.2 Fokus der Arbeit	3
1.3 Aufbau der Arbeit	4
2 Grundlagen und Stand der Forschung.....	7
2.1 Systemisches Verständnis: Modellierung von Produkten und Produktentstehungs-Prozessen.....	7
2.1.1 Allgemeine System- und Modelltheorie.....	8
2.1.2 Problemlösungsansätze in der Produktentstehung	12
2.1.3 Modelle der Produktentstehung	14
2.2 Modell der SGE – Systemgenerationsentwicklung: Referenzbasiertes Entwickeln	17
2.2.1 Innovationsverständnis und Produktprofil	17
2.2.2 Grundlagen des Modells der SGE	20
2.2.3 Referenzsystem im Modell der SGE	23
2.2.4 Frühe Phase im Modell der SGE	25
2.3 SE – Systems Engineering: Entwicklung komplexer Produkte.....	29
2.3.1 Grundsätze des SE.....	30
2.3.2 Systementwicklung im SE	32
2.3.3 ASE – Advanced Systems Engineering	35
2.4 Zielsystembildung: Bedarfe, Ziele und Anforderungen	37
2.4.1 Systemisches Verständnis von Bedarfen, Zielen und Anforderungen	37
2.4.2 Zusammenspiel von Bedarfen, Zielen und Anforderungen	42
2.4.3 Wiederverwendung von Zielsystemelementen.....	45
2.5 Zwischenfazit und Forschungslücke	47
3 Zielsetzung und Vorgehensweise.....	53
3.1 Forschungsbedarf und -ziel	53
3.2 Forschungshypothesen und -fragen	54

3.3	Forschungsumgebung	56
3.4	Forschungsmethode und -design.....	57
4	Untersuchungen zum Spezifizieren von Zielen und Anforderungen anhand von Bedarfen in Literatur und Praxis	61
4.1	Analyse von Ansätzen zur Definition und Formulierung von Bedarfen in der Literatur	67
4.2	Analyse von Einflussfaktoren für das Zusammenspiel von Bedarfen, Zielen und Anforderungen in der Praxis.....	73
4.3	Analyse von Einfluss- und Kontingenzfaktoren bei der Wiederverwendung von Zielen und Anforderungen auf Basis von Bedarfen in Literatur und Praxis.....	81
4.4	Ableitung von Unterstützungs faktoren	90
5	Spezifizieren von Zielen und Anforderungen anhand von Bedarfen im Modell der SGE.....	93
5.1	Systemgenerationsübergreifendes Bedarfs-, Ziel- und Anforderungsverständnis	94
5.1.1	Bedarfsverständnis in der KaSPro – Karlsruher Schule für Produktentwicklung	95
5.1.2	Variationsarten von Bedarfen, Zielen und Anforderungen	97
5.2	Zusammenspiel von Bedarfen, Zielen und Anforderungen	101
5.2.1	Referenzprozess zum Zusammenspiel von Bedarfen, Zielen und Anforderungen	102
5.2.2	Methodische Unterstützung zum Zusammenspiel von Bedarfen, Zielen und Anforderungen.....	109
5.3	Wiederverwendung von Zielen und Anforderungen auf Basis von Bedarfen	114
5.3.1	Referenzprozess zur Wiederverwendung von Zielen und Anforderungen auf Basis von Bedarfen.....	114
5.4	Unterstützungsevaluation	119
6	Evaluation der entwickelten Systematik in der Produktentwicklungspraxis.....	121
6.1	Evaluation des systemgenerationsübergreifenden Bedarfs-, Ziel- und Anforderungsverständnisses.....	122
6.1.1	Anwendbarkeitsevaluation	122
6.1.2	Initiale Erfolgsevaluation	124
6.2	Evaluation des Zusammenspiels von Bedarfen, Zielen und Anforderungen	132
6.2.1	Anwendbarkeitsevaluation	133
6.2.2	Initiale Erfolgsevaluation	135

6.3	Evaluation der Wiederverwendung von Zielen und Anforderungen auf Basis von Bedarfen	139
6.3.1	Anwendbarkeitsevaluation	140
6.3.2	Initiale Erfolgsevaluation	141
7	Zusammenfassung und Ausblick	143
7.1	Zusammenfassung	143
7.2	Ergebnistransfer und Ausblick	151
7.2.1	Transfer der Systematik auf weitere (nicht-automobile) Anwendungsfälle	151
7.2.2	Weiterentwicklung der prozessualen und methodischen Unterstützung	152
7.2.3	Datengetriebene Validierung von Zielsystemelementen	153
	Literaturverzeichnis.....	I
	Wissenschaftliche Vorveröffentlichungen unter Mitautorenschaft des Autors dieser Dissertation.....	XXVII
	Glossar	XXIX

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1.1: ARC-Diagramm mit relevanten Forschungsfeldern im Rahmen der vorliegenden Arbeit – Darstellung in Anlehnung an Blessing und Chakrabarti (2009, S. 66)	4
Abbildung 1.2: Aufbau der vorliegenden Arbeit – Darstellung in Anlehnung an (Heitger, 2019, S. 4).....	5
Abbildung 2.1: Konzepte der Systemtheorie nach Ropohl (1975)	8
Abbildung 2.2: Modellbildung und -nutzung nach Lohmeyer (2013).....	10
Abbildung 2.3: Erweitertes ZHO-Modell nach Albers, Ebel und Lohmeyer (2012)	11
Abbildung 2.4: SPALTEN-Problemlösemethodik nach Albers et al. (2005).....	13
Abbildung 2.5: Auflösungsgrad des Produktentwicklungsprozesses nach Ponn und Lindemann (2011)	14
Abbildung 2.6: V-Modell für den Entwurf mechatronischer Systeme nach VDI 2206 (2020).....	15
Abbildung 2.7: iPeM – integriertes Produktentstehungsmodell nach Albers, Reiss, Bursac und Richter (2016)	16
Abbildung 2.8: Struktur und Aufbau eines generischen Produktprofils nach Albers, Heimicke und Walter et al. (2018)	18
Abbildung 2.9: Referenzsystem im Modell der SGE nach Albers und Rapp et al. (2019).....	24
Abbildung 2.10: Entwicklungsgenerationen im Modell der SGE nach Albers und Haug et al. (2019)	25
Abbildung 2.11: Frühe Phase der SGE nach Albers und Rapp et al. (2017)	27
Abbildung 2.12: Beispielhaftes Eigenschaftsprofil nach Hirscher et al. (2018)	29
Abbildung 2.13: Systems Engineering als Problemlösungsprozess nach Haberfellner et al. (2019).....	31
Abbildung 2.14: Systemlebenszyklusprozess nach ISO 15288.....	33
Abbildung 2.15: Exemplarische logische Systemarchitektur eines Fahrzeugsystems (Ausschnitt) in Anlehnung an Fahl (2022)...	35
Abbildung 2.16: Handlungsfelder des Advanced Systems Engineerings in Anlehnung an Dumitrescu et al. (2021)	36
Abbildung 2.17: Verständnis von Zielen, Anforderungen und Randbedingungen nach Ebel (2015).....	39

Abbildung 2.18: Beurteilungsdimensionen von Zielsystemelementen nach Albers et al. (2013) und Ebel (2015)	40
Abbildung 2.19: Entscheidungsmatrix nach Ebel (2015)	41
Abbildung 2.20: Nutzung von Referenzen in der Zielsystembildung in Anlehnung an Kubin et al. (2022)	45
Abbildung 2.21: Herausforderungen bei dem systemgenerationsübergreifenden Bedarfs-, Ziel- und Anforderungsverständnis in Anlehnung an Kubin et al. (2022)	49
Abbildung 2.22: Herausforderungen bei dem Systems-Engineering-basierten Zusammenspiel von Bedarfen, Zielen und Anforderungen in Anlehnung an Kubin et al. (2022)	50
Abbildung 2.23: Herausforderungen bei der Systems-Engineering-basierten Wiederverwendung von Zielen und Anforderungen auf Basis von Bedarfen in Anlehnung an Kubin et al. (2022).....	52
Abbildung 3.1: Forschungsdesign der vorliegenden Arbeit.....	59
Abbildung 4.1: Übersicht der Deskriptiven Studie I (DS-I)	61
Abbildung 4.2: Erfahrungs- und Selbsteinschätzungs niveau der Expert*innen (n=11) der zweiten Phase der Delphi-Studie nach Kubin et al. (2022)	63
Abbildung 4.3: Vorgehen im Rahmen der systematischen Literaturrecherche in Anlehnung an Xiao und Watson (2017)	67
Abbildung 4.4: Ergebnisse des Screenings	69
Abbildung 4.5: Vorgehen im Zuge der Analyse von Einflussfaktoren	74
Abbildung 4.6: Referenzmodell mit Einflussfaktoren für das Zusammenspiel von Bedarfen, Zielen und Anforderungen nach Albers und Kubin et al. (vsl. 2025)	78
Abbildung 4.7: Kategorisierung der Einflussfaktoren für das Zusammenspiel von Bedarfen, Zielen und Anforderungen nach Albers et al. (vsl. 2023)	79
Abbildung 4.8: Vorgehen im Zuge der Analyse von Kontingenz- und Einflussfaktoren	82
Abbildung 4.9: Ergebnisse des Screenings	83
Abbildung 4.10: Vorgehen zur Wiederverwendung von Anforderungen im Status Quo – Darstellung nach Eckhardt (2021, S. 58).....	85
Abbildung 4.11: Unterstützungs faktoren zur Berücksichtigung im Rahmen der Präskriptiven Studie.....	91

Abbildung 5.1: Übersicht der Präskriptiven Studie (PS)	93
Abbildung 5.2: Framework der Abstraktionsgrade der Systemmodellierung nach Albers und Matthiesen et al. (2014).....	94
Abbildung 5.3: Abgrenzung von Bedarfen, Zielen und Anforderungen in der Entscheidungsmatrix (Kubin et al., 2023)	96
Abbildung 5.4: Modellierung von Stakeholder-Bedarfen in der KaSPro nach Definition 6 (Kubin et al., 2023)	97
Abbildung 5.5: Satzbauschablone zur Formulierung von Stakeholder-Bedarfen...98	
Abbildung 5.6: Framework der Abstraktionsgrade der Prozessmodellierung nach Albers und Muschik (2010).....	102
Abbildung 5.7: Referenzprozess zum Zusammenspiel von Bedarfen, Zielen und Anforderungen (Albers, Kubin et al., vsl. 2025)	103
Abbildung 5.8: Spezifizierungs-Steckbrief zur methodischen Unterstützung des Zusammenspiels von Bedarfen, Zielen und Anforderungen (Albers et al., vsl. 2023).....	110
Abbildung 5.9: Bedienoberfläche des Steckbrief-Generators.....	112
Abbildung 5.10: Automatisiert erstelltes KPI-Dashboard.....	113
Abbildung 5.11: Referenzprozess zur Wiederverwendung von Zielen und Anforderungen auf Basis von Bedarfen (Albers, Kubin et al., 2022).....	115
Abbildung 5.12: Verifikation der Unterstützungsfaktoren.....	120
Abbildung 6.1: Übersicht der Deskriptiven Studie II (DS-II).....	121
Abbildung 6.2: Beobachtetes Bedarfsverständnis bei einem Automobilhersteller (Kubin et al., 2023).....	124
Abbildung 6.3: Vorgehen im Rahmen der quantitativen Dokumentenanalyse in Anlehnung an das CRISP-DM Modell (Shearer, 2000).....	127
Abbildung 6.4: Erkenntnisse aus der quantitativen Dokumentenanalyse zu den Variationsanteilen und Ursachen von Bedarfen, Zielen und Anforderungen	128
Abbildung 6.5: Vorgehen zur Analyse des Einflusses der Variation von Bedarfen auf die Variation der abgeleiteten Ziele und Anforderungen ..131	
Abbildung 6.6: Ablauf des Live-Labs ProVIL – Produktentwicklung im virtuellen Ideenlabor	134
Abbildung 6.7: Auswertung der Fragebogenstudie zur Anwendbarkeit des Zusammenspiels von Bedarfen, Zielen und Anforderungen (Albers, Kubin et al., vsl. 2025).....	135

Abbildung 6.8: Auswertung der Experteninterviews zum initialen Erfolgsbeitrag beim Zusammenspiel von Bedarfen, Zielen und Anforderungen (Albers et al., vsl. 2023)	137
Abbildung 6.9: Auswertung der Nachvollziehbarkeit der Anforderungen des Automobilherstellers auf Systemebene mit und ohne Implementierung der Systematik (Albers, Kubin et al., vsl. 2025)	138
Abbildung 6.10: Auswertung der vermiedenen Auftritte von Kontingenzfaktoren bei der Wiederverwendung von Zielen und Anforderungen auf Basis von Bedarfen (Albers, Kubin et al., 2022).....	142
Abbildung 7.1: Herausforderungen bei dem Spezifizieren von Zielen und Anforderungen anhand von Bedarfen (vgl. Abschnitt 2.5)....	144
Abbildung 7.2: Zielsetzung der vorliegenden Forschungsarbeit (vgl. Abschnitt 3.1)	144
Abbildung 7.3: Vorgehen im Rahmen der Deskriptiven Studie I (vgl. Kapitel 4) .	145
Abbildung 7.4: Vorgehen im Rahmen der Präskriptiven Studie (vgl. Kapitel 5) ..	147
Abbildung 7.5: Vorgehen im Rahmen der Deskriptiven Studie II (vgl. Kapitel 6)	148
Abbildung 7.6: Verifikation der drei Forschungshypothesen (FH1, FH2 und FH3) aus Abschnitt 3.2	151

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Initiale Schlüsselfaktoren an die prozessuale und methodische Unterstützung nach Kubin et al. (2022)	65
Tabelle 2: Statistische Auswertung der Relevanzbewertung der initialen Schlüsselfaktoren nach Kubin et al. (2022)	66
Tabelle 3: Charakteristika von Bedarfen in Systems-Engineering-Literatur nach Kubin et al. (2022)	71
Tabelle 4: Zuordnung der Einflussfaktoren zu den Akzeptanzdimensionen nach Albers, Lohmeyer und Radimersky (2012)	80
Tabelle 5: Einflussfaktoren für die Wiederverwendung von Zielen und Anforderungen auf Basis von Bedarfen nach (Albers, Kubin et al., 2022)	87
Tabelle 6: Exemplarische Variation eines Stakeholder-Bedarfs	99
Tabelle 7: Exemplarische Variation einer Anforderung	101
Tabelle 8: Auswertung der Fragebogenstudie zum Bedarfsverständnis (Kubin et al., 2023)	126

Abkürzungsverzeichnis

AE	Advanced Engineering
AL	Alternative Lösungssuche
AS	Advanced Systems
ASD	Agile Systems Design
ASE	Advanced Systems Engineering
ASPICE	Automotive Software Process Improvement and Capability dEtermination
AV	Ausprägungsvariation
AxD	Axiomatic Design
bspw.	beispielsweise
bzw.	beziehungsweise
DRM	Design Research Methodology
DS-I	Deskriptive Studie I
DS-II	Deskriptive Studie II
EFR	Engineering for Reuse
EU	Entscheiden und Umsetzen
EWR	Engineering with Reuse
etc.	<i>lat. et cetera, dt. und so weiter</i>
FF	Forschungsfrage
ggf.	gegebenenfalls
GV	Gestaltvariation
HS	Handlungssystem
IC	Informationscheck
INCOSE	International Council on Systems Engineering
IPEK	Institut für Produktentwicklung

iPeM	integriertes Produktentstehungsmodell
ISO	International Organization for Standardization
i.S.v.	im Sinne von
KaSPro	Karlsruher Schule für Produktentwicklung
KF	Kontingenzfaktor
KI	Künstliche Intelligenz
KIT	Karlsruher Institut für Technologie
KVP	Kontinuierlicher Verbesserungsprozess
LA	Problemeingrenzung
MBSE	Model Based Systems Engineering
NL	Nachbereiten und Lernen
OS	Objektsystem
PDCA	Plan, Do, Check, Act
PE	Problemeingrenzung
PEP	Produktentstehungsprozess
PLT	Problemlösungsteam
PGE	Produktgenerationsentwicklung
ProVIL	Produktentwicklung im virtuellen Ideenlabor
PS	Präskriptive Studie
PV	Prinzipvariation
QFD	Quality Function Deployment
RSE	Referenzsystemelement
SA	Situationsanalyse
SE	Systems Engineering
SEBoK	Systems Engineering Body of Knowledge
SGE	Systemgenerationsentwicklung
SLR	Systematische Literaturrecherche

Sol	System of Interest
SoS	System of Systems
SPALTEN	Situationsanalyse, Problemeingrenzung, Alternative Lösungssuche, Lösungsauswahl, Tragweitenanalyse, Entscheiden und Umsetzen, Nachbereiten und Lernen
SUV	Sport Utility Vehicle
SysML	Systems Modeling Language
TA	Tragweitenanalyse
TOTE	Test, Operate, Test, Exit
u.a.	unter anderem
UML	Unified Modeling Language
ÜV	Übernahmevereinbarung
VBA	Visual Basic for Applications
VDA	Verband der Automobilindustrie
VDI	Verein Deutscher Ingenieure e.V.
vgl.	vergleiche
WLTP	Worldwide Harmonized Light Vehicles Test Procedure
z.B.	zum Beispiel
ZHO	Zielsystem, Handlungssystem, Objektsystem
ZS	Zielsystem

Formelzeichen

$G_i, i \in \mathbb{N}$	Systemgeneration im Modell der SGE	1
$G_n = \text{ÜS}_n \cup \text{AS}_n \cup \text{PS}_n$	Vereinigten Menge der Systemelemente der Systemgeneration G_n , die durch die drei Variationsarten (ÜV, AV, PV) entwickelt wird	2
$\delta_{\text{ÜS}_n} = \frac{ \text{ÜS}_n }{ G_n }$	Anteil Übernahmeveriation (ÜV) der Systemgeneration G_n	3
$\delta_{\text{AS}_n} = \frac{ \text{AS}_n }{ G_n }$	Anteil Ausprägungsvariation (AV) der Systemgeneration G_n	3
$\delta_{\text{PS}_n} = \frac{ \text{PS}_n }{ G_n }$	Anteil Prinzipvariation (PV) der Systemgeneration G_n	3
$R_i, i \in \mathbb{N}$	Referenzsystem im Modell der SGE	4
$E_{i,j}, i, j \in \mathbb{N}$	Entwicklungsgeneration im Modell der SGE	5
$E = \{i \mid i \in \mathbb{N}_0\}$	Systemebenen der logischen Systemarchitektur	6

1 Einleitung

„Kein Kunde kauft jemals ein Erzeugnis. Er kauft immer nur das, was das Erzeugnis für ihn leistet.“ – betrachtete man dieses Zitat von Peter F. Drucker¹, so wird deutlich, dass ein Unternehmen nur dann erfolgreich sein kann, wenn es seine Produkte kontinuierlich an den Bedarfen der Kunden reflektiert. Infolgedessen muss der Lösungsraum im Rahmen der Produktentwicklung gezielt erweitert werden, um die zunehmend vielschichtigeren Bedarfe erfüllen zu können und dadurch das Innovationspotenzial des Produkts zu steigern. Gleichzeitig können Unternehmen durch den Transfer der bestehenden Markenwerte in ihre zukünftigen Produkte das Entwicklungsrisiko minimieren und Traditionen schaffen. Dieses Vorgehen wird insbesondere in der Automobilindustrie schnell ersichtlich: der erste Porsche 911, der „Ur-Elfer“, wurde 1963 in den Markt eingeführt und befindet sich mittlerweile in der achten Generation. In diesen 60 Jahren wurden Aspekte wie beispielsweise der Antrieb, das Fahrwerk und das Infotainment kontinuierlich weiterentwickelt, die „Idee“ des Fahrzeugs ist jedoch nach wie vor dieselbe. Auch heute finden sich neben klassischen Designelementen noch die ursprünglichen Kerneigenschaften in dem Porsche 911 wieder. Das *Modell der SGE – Systemgenerationsentwicklung* nach ALBERS beschreibt dieses Vorgehen in einem systemischen Ansatz und bildet damit die Grundlage für eine gezielte Steuerung von Innovationspotenzial und Entwicklungsrisiko (Albers, Bursac & Wintergerst, 2015). In dem Modell der SGE wird insbesondere auch die Zielbildung systematisiert. Im Rahmen der Zielbildung werden die Bedarfe in Form von verbindlichen Zielen spezifiziert, welche wiederum durch technische Anforderungen konkretisiert werden. Die Ziele und Anforderungen strukturieren und definieren den Lösungsraum und sind damit die Grundlage für die anschließende Ausgestaltung der technischen Lösungen. Infolgedessen stellt die Zielbildung die Basis für eine nachvollziehbare Orientierung an der Bedarfssituation dar.

In der vorliegenden Forschungsarbeit wird das Spezifizieren von Zielen und Anforderungen anhand von Bedarfen näher untersucht und durch entsprechende Systematiken unterstützt. Die folgenden Abschnitte erläutern die Motivation und den Fokus der Arbeit sowie die grundlegende Struktur.

¹ Unternehmensberater und Managementtheoretiker, Publizist (USA, 1909 - 2005)

1.1 Motivation

Die Bedarfssituation in der automobilen Produktentwicklung wird zunehmend komplexer: Megatrends wie Digitalisierung, Personalisierung und Nachhaltigkeit sowie eine verstärkte Berücksichtigung von Wachstumsmärkten führen zu einer steigenden Anzahl an Bedarfen der verschiedenen Stakeholder (Dumitrescu, Albers, Riedel, Stark & Gausemeier, 2021). Die Stakeholder umfassen dabei neben den Kunden, den Anwendern und dem Anbieter auch weitere betroffene, jedoch nicht notwendigerweise mit dem System interagierende Anspruchsgruppen (z.B. Gesellschaft). Die nachvollziehbare Berücksichtigung der Bedarfe im Rahmen der Entwicklung zukünftiger Produkte ermöglicht es Marktpotenziale zu erschließen und Differenzierungsmerkmale gegenüber einem zunehmend anspruchsvollen internationalen Wettbewerb zu etablieren (Kuhnert, Stuermer & Koster, 2017). Gleichzeitig entstehen aufgrund des Einsatzes neuer Schlüsseltechnologien (z.B. einer Implementierung autonomer Fahrfunktionen, einer zunehmenden digitalen Vernetzung oder einer Elektrifizierung des Antriebsstrangs) sowie der Berücksichtigung des Mobilitätsökosystems im Sinne eines System of Systems komplexe Abhängigkeiten in der Entwicklung (Beihoff et al., 2014; Mohr et al., 2013; Winkelhake, 2021). Aufgrund dieser zunehmenden Markt- und Entwicklungskomplexität entwickeln sich Fahrzeuge zu *Advanced Systems*. Die durchgängige Orientierung an den Bedarfen und die daraus resultierender Stakeholder-Zentrierung wird somit mehr denn je zum zentralen Erfolgsfaktor (Albers, Dumitrescu et al., 2022).

Hierzu müssen in erster Instanz die Ziele und Anforderungen, welche die Basis für die technischen Lösungen darstellen, nachvollziehbar anhand von den Bedarfen spezifiziert werden (INCOSE, 2015). Für einen erfolgreichen Umgang mit der steigenden Entwicklungskomplexität bieten sich zur Unterstützung dieses Spezifizierens Prozesse und Methoden des *Systems Engineerings* an (Albers & Lohmeyer, 2012; Gausemeier, Dumitrescu et al., 2013). Gleichzeitig können durch Ansätze des *Advanced Engineering*, wie z.B. das *Modell der SGE – Systemgenerationsentwicklung* nach ALBERS, weitere Potenziale im Rahmen der Produktentwicklung gehoben werden (Albers et al., 2015; Dumitrescu et al., 2021). Im Rahmen der vorliegenden Forschungsarbeit stellt sich daher die folgende Frage: Wie kann das Spezifizieren von Zielen und Anforderungen anhand von Bedarfen vor dem Leitbild *Advanced Systems Engineering* bei Automobilherstellern gestaltet werden?

1.2 Fokus der Arbeit

Im Rahmen der vorliegenden Forschungsarbeit wird das Spezifizieren von Zielen und Anforderungen anhand von Bedarfen untersucht. Der Schwerpunkt der Untersuchungen ist die automobile Produktentwicklung eines Original Equipment Manufacturers (OEM), d.h. eines Automobilherstellers. Die Forschungsarbeit basiert auf drei zentralen Forschungsfeldern: dem *Modell der SGE – Systemgenerationsentwicklung*, dem *ASE – Advanced Systems Engineering* und der *Zielsystembildung*.

Das Modell der SGE – Systemgenerationsentwicklung nach ALBERS ist ein Beschreibungsmodell, welches auf zwei Hypothesen basiert: Jedes Produkt wird auf Grundlage eines Referenzsystems und durch die Aktivitäten der Übernahme-, Ausprägungs- und Prinzipvariation entwickelt (Albers et al., 2015; Albers, Rapp et al., 2019). Dies gilt nicht nur für die physische Gestalt, sondern insbesondere auch bei weiteren Systemelementen (z.B. Bedarfe, Ziele und Anforderungen) (Albers, Rapp et al., 2020).

SE – Systems Engineering beschreibt einen interdisziplinären Ansatz zur Anleitung von Produktentwickelnden bei der Entwicklung komplexer Produkte und stellt dabei sicher, dass die Bedarfe der Stakeholder über den gesamten Lebenszyklus zufriedengestellt werden (Kossiakoff, 2011). Zu diesem Zweck werden Prozesse und Methoden bereitgestellt, die dabei so abstrakt formuliert sind, dass sie auf verschiedene Anwendungsbereiche transferiert werden können (INCOSE, 2015). Gleichzeitig existieren für eine konkrete Anwendung im automobilen Umfeld wenige Handlungsvorgaben. Um menschzentrierte Handlungsvorgaben unter Berücksichtigung weiterer innovativer Methoden des Engineerings zu schaffen muss das SE zum ASE – Advanced Systems Engineering erweitert werden (Dumitrescu et al., 2021).

Die Zielsystembildung beschreibt insbesondere das Spezifizieren von Zielen und Anforderungen und hat ihren Schwerpunkt demzufolge in der Frühen Phase des Produktentstehungsprozesses (Ebel, 2015). Infolgedessen ist sie die Basis für die erfolgreiche Entwicklung des richtigen Produkts, weswegen eine konsequente Orientierung an den Bedarfen der Stakeholder essenziell ist (Albers, 2010). Gleichzeitig können durch die Wiederverwendung bestehender Zielsystemelemente Effizienzen gehoben werden (Lam, 1998).

Diese Themenfelder, zu denen in der vorliegenden Forschungsarbeit ein Beitrag geleistet wird, ebenso wie solche, auf die im Rahmen der Untersuchungen Bezug

genommen wird, sind in Abbildung 1.1 in einem ARC-Diagramm (ARC = „Areas of relevance and contribution“) dargestellt (Blessing & Chakrabarti, 2009, S. 66).

Einen zentralen Schwerpunkt der vorliegenden Forschungsarbeit stellt der Transfer bestehender Forschungsinhalte der KaSPro – Karlsruher Schule für Produktentwicklung in den spezifischen Anwendungsbereich der automobilen Produktentwicklung eines Automobilherstellers dar. Hierfür wird eine Weiterentwicklung des Bedarfs-, Ziel- und Anforderungsverständnisses im Modell der SGE vorgeschlagen. Darauf aufbauend wird das Spezifizieren von Zielen und Anforderungen anhand von Bedarfen prozessual und methodisch unterstützt. Infolgedessen werden im Rahmen der vorliegenden Forschungsarbeit zentrale Elemente der KaSPro vertieft.

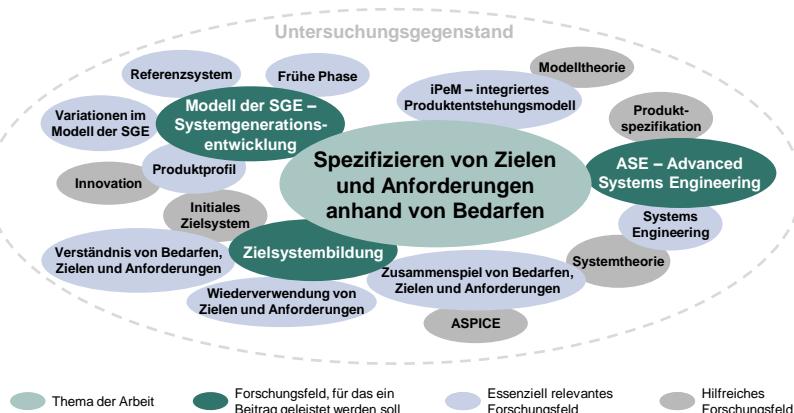


Abbildung 1.1: ARC-Diagramm mit relevanten Forschungsfeldern im Rahmen der vorliegenden Arbeit – Darstellung in Anlehnung an Blessing und Chakrabarti (2009, S. 66)

1.3 Aufbau der Arbeit

Die Forschungsarbeit ist in sieben Kapitel gegliedert, welche in Abbildung 1.2 zusammen mit den wesentlichen Inhalten dargestellt sind. Die einzelnen Kapitel werden im Folgenden kurz zusammengefasst.

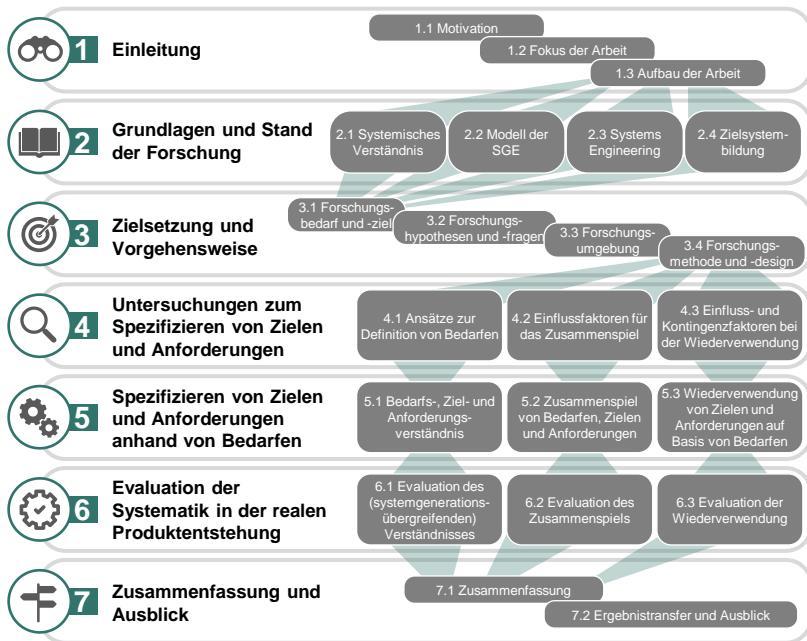


Abbildung 1.2: Aufbau der vorliegenden Arbeit – Darstellung in Anlehnung an (Heitger, 2019, S. 4)

In *Kapitel 2* werden die Grundlagen und der Stand der Forschung zu den zuvor beschriebenen Forschungsfeldern analysiert. Hierzu werden zunächst die Grundlagen des systemischen Verständnisses in der Produktentstehung eingeführt. Darauf aufbauend wird das Modell der SGE – Systemgenerationsentwicklung nach ALBERS erläutert und es werden die Grundsätze des SE – Systems Engineerings sowie die Erweiterung zum ASE – Advanced Systems Engineering betrachtet. Des Weiteren wird der Stand der Forschung zur Zielsystembildung beschrieben. Den Abschluss des Kapitels bildet die Herleitung der Forschungslücke, welche durch eine empirische Studie weiter konkretisiert und strukturiert wird.

Aufbauend auf der identifizierten Forschungslücke wird in *Kapitel 3* das Forschungsziel formuliert, welches durch Forschungshypothesen fokussiert und daraus abgeleitete Forschungsfragen konkretisiert wird. Darüber hinaus wird die Forschungsumgebung der vorliegenden Arbeit vorgestellt und das

Forschungsdesign anhand der verwendeten Forschungsmethodik und des Forschungsvorgehens präzisiert.

Kapitel 4 beschreibt Untersuchungen zum Spezifizieren von Zielen und Anforderungen anhand von Bedarfen. Hierbei werden zunächst im Rahmen einer übergreifenden empirischen Studie initiale Schlüsselfaktoren identifiziert. Darauf aufbauend werden drei vertiefende Studien durchgeführt. Die erste Studie untersucht Ansätze zur Definition und Formulierung von Bedarfen in der Literatur. Nachfolgend werden Einflussfaktoren beim Zusammenspiel von Bedarfen, Zielen und Anforderungen identifiziert. In der dritten Studie werden Einflussfaktoren für die Wiederverwendung von Zielen und Anforderungen auf Basis von Bedarfen literaturbasiert analysiert und anschließend potenzielle Fehler, sogenannte Kontingenzfaktoren, bei der Wiederverwendung empirisch untersucht.

Auf Basis dieser Untersuchungen wird in *Kapitel 5* eine dreiteilige Systematik synthetisiert. Zunächst wird das (systemgenerationsübergreifende) Bedarfs-, Ziel- und Anforderungsverständnis im Modell der SGE eingeführt. Anknüpfend daran wird eine prozessuale und methodische Unterstützung zum Zusammenspiel von Bedarfen, Zielen und Anforderungen erläutert. Der dritte Abschnitt beschreibt einen Referenzprozess zur Wiederverwendung von Zielen und Anforderungen auf Basis von Bedarfen.

In *Kapitel 6* werden die Anwendbarkeit und der initiale Erfolgsbeitrag der entwickelten Systematiken über empirische Studien untersucht. Diese Evaluationen finden sowohl in der Sportwagenentwicklung als auch bei einem Werkzeugmaschinenhersteller und im Rahmen des Live-Labs ProVIL – Produktentwicklung im virtuellen Ideenlabor statt.

Abschließend werden die Ergebnisse und Erkenntnisse in *Kapitel 7* zusammengefasst. Zudem wird ein Ergebnistransfer diskutiert und ein Ausblick auf mögliche zukünftige Forschungsaktivitäten gegeben, die an die vorliegende Forschungsarbeit anknüpfen.

2 Grundlagen und Stand der Forschung

Dieses Kapitel beschreibt die in der Literatur dargestellten Grundlagen sowie den Stand der Forschung und dient zur Klärung des Forschungsgegenstandes der vorliegenden Arbeit gemäß Blessing und Chakrabarti (2009). Darauf aufbauend werden in Kapitel 3 der Forschungsbedarf sowie die Zielsetzung identifiziert und abgeleitet.

Hierzu beschreibt Abschnitt 2.1 das systemische Verständnis in der Produktentstehung sowie damit verbundene relevante Modelle und Prozesse. Anschließend wird in Abschnitt 2.2 mit dem Modell der SGE – Systemgenerationsentwicklung nach ALBERS ein grundlegender Beschreibungsrahmen für die referenzbasierte Entwicklung neuer Systemgenerationen vorgestellt. Hierbei wird insbesondere das in der *KaSPro – Karlsruher Schule für Produktentwicklung* eingeführte Produktprofil beschrieben, welches die Bedarfssituation von Kunde, Anwender und Anbieter darstellt. Eine durchgängige Bedarfsorientierung in der Produktentwicklung wird insbesondere im Systems Engineering verfolgt, dessen Grundsätze in Abschnitt 2.3 ausgeführt werden. Um die gewonnenen Erkenntnisse zu vertiefen, wird in Abschnitt 2.4 auf das Anforderungsmanagement in der Zielsystembildung eingegangen. Die kritische Reflexion des Stands der Forschung in Abschnitt 2.5 dient zur Identifikation der Forschungslücke. Diese wird durch eine empirische Studie in der automobilen Produktentwicklung konkretisiert, welche drei Herausforderungen bei dem Systems-Engineering-basierten Spezifizieren von Zielen und Anforderungen anhand von Bedarfen beschreibt.

2.1 Systemisches Verständnis: Modellierung von Produkten und Produktentstehungs-Prozessen

Die Produktentwicklung hat es zum Ziel, eine technische Lösung für ein bestimmtes Problem zu finden, die anschließend als herstellbares und funktionsfähiges Produkt auf den Markt gebracht wird (Ponn & Lindemann, 2011). Sowohl die Produkte als auch der Kontext, in dem sie entstehen, werden als technische oder sozio-technische Systeme beschrieben (Bender & Gericke, 2021). Infolgedessen ist ein systemisches Verständnis des Produktes und der Entwicklungsaufgabe unerlässlich, wobei die Beschreibung und Strukturierung von Systemen anhand von Modellen erfolgt. Im Folgenden wird zunächst die allgemeine System- und

Modelltheorie beschrieben, gefolgt von Problemlösungsansätzen und Modellen in der Produktentstehung.

2.1.1 Allgemeine System- und Modelltheorie

Die allgemeine Systemtheorie ist ein disziplinübergreifender Ansatz mit dem Ziel komplexe Phänomene abstrakt zu beschreiben. Die Grundlagen dieses Ansatzes gehen auf den von Bertalanffy (1969) beschriebenen Begriff der Ganzheitlichkeit zurück, demzufolge ein System mehr als die Summe seiner Elemente ist. Diverse Beispiele aus verschiedenen Disziplinen (bspw. Produktionssystem, Ökosystem) verdeutlichen das breite Spektrum des Systemverständnisses. Infolgedessen stellt Pulm (2004) fest, dass die Ausprägung der Systemtheorie von dem jeweiligen Kontext der Anwendung abhängt. Für den Anwendungsbereich der Ingenieurwissenschaft beschreibt Ropohl (1975) die *Systemtheorie der Technik*. Diese gliedert sich in die drei in Abbildung 2.1 dargestellten Systemkonzepte.

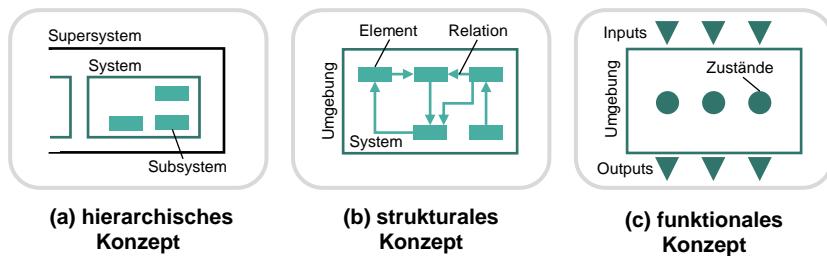


Abbildung 2.1: Konzepte der Systemtheorie nach Ropohl (1975)

Das *hierarchische Konzept* zeigt, dass ein System sowohl als untergeordnetes Subsystem als auch als umfassendes Supersystem verstanden werden kann. Demzufolge sind die Elemente eines Systems eigenständige Subsysteme und das System, das sie enthält, ist selbst ein Teil eines umfassenden Supersystems (Daenzer & Haberfellner, 2002; Ropohl, 1975). Diese Art der Betrachtung kann über mehrere Ebenen hinweg erfolgen, weswegen ein systemtheoretischer Ansatz von einer bestimmten Systemebene auf die entsprechenden Subsysteme übertragen werden kann. Dieser Zusammenhang wird von Albers, Braun und Muschik (2010) als fraktaler Charakter bezeichnet.

Das *strukturelle Konzept* greift das Prinzip der Ganzheitlichkeit auf und beschreibt, dass neben der Summe der Elemente auch die Relationen untereinander berücksichtigt werden müssen, um das System zu erfassen (Ropohl, 1975).

Das *funktionale Konzept* beinhaltet das Zusammenspiel des Systems mit seiner Umgebung. Hierbei wird das System als sogenannte „Black Box“ betrachtet, welches Eingangsgrößen (Inputs) und Ausgangsgrößen (Outputs) in Beziehung zueinander setzt und dabei verschiedene Zustände annehmen kann (Ropohl, 1975). Diese drei Ausprägungen der Systemtheorie treten häufig in Kombination miteinander auf (Ehrlenspiel & Meerkamm, 2013).

Im Rahmen der Produktentwicklung steht der Mensch im Zentrum aller Entwicklungsaktivitäten (Albers, 2011; Dumitrescu et al., 2021). Infolgedessen muss auf die Wechselwirkungen von technischen Systemen mit dem Menschen fokussiert werden. Diese Verknüpfung wird als *sozio-technisches System* beschrieben. Hierbei unterscheidet Ropohl (2009) zwei Arten von sozio-technischen Systemen: das sozio-technische System der *Entstehung* und das der *Verwendung*. Im Ersteren nimmt der Mensch eine Entwickelnden-Rolle ein, im Zweiteren die eines Anwendenden.

Durch den Zusammenschluss einzelner, in Wechselwirkung tretender, Systeme kann ein sogenanntes *System of Systems* (SoS) gebildet werden. Hierbei müssen, im Gegensatz zu dem Systemverständnis nach Ropohl (2009), die Subsysteme des SoS autark sein, was sich insbesondere in unabhängigen Lebenszyklusmodellen äußert (Maier, 1998). Ein Beispiel aus der automobilen Produktentwicklung für ein solches SoS ist das Mobilitätsökosystem, welches neben dem Fahrzeugsystem weitere Systeme wie bspw. die Verkehrsinfrastruktur, die Ladeinfrastruktur oder das Kommunikationsnetz enthält. (*Sub-*)Systeme, die im Fokus der Betrachtung liegen werden als *System of Interest* (SOI) bezeichnet (INCOSE, 2015).

Zur Beschreibung, Strukturierung und Analyse von (technischen) Systemen werden Modelle als Hilfsmittel verwendet. Das Konzept der allgemeinen Modelltheorie geht auf Stachowiak (1973) zurück und charakterisiert Modelle basierend auf drei Hauptmerkmalen: dem *Abbildungsmerkmal*, dem *Verkürzungsmerkmal* und dem *pragmatischen Merkmal* (Stachowiak, 1973). Durch das Abbildungsmerkmal wird beschrieben, dass ein Modell ausschließlich eine Repräsentation natürlicher oder künstlicher Originale ist. Diese können wiederrum selbst eine Abbildung im Sinne eines Modells sein. Dem Verkürzungsmerkmal folgend werden durch ein Modell niemals alle Attribute des Originals repräsentiert, sondern lediglich diejenigen Elemente, welche durch die Erschaffenden als relevant charakterisiert wurden. Das pragmatische Merkmal führt aus, dass ein Modell stets für einen bestimmten Zweck erstellt wird. In Konsequenz erfüllt ein Modell eine Ersatzfunktion für das Originalsystem über den Zeitraum der Nutzung des Modells, bei gezielter Einschränkung von gedanklichen oder tatsächlichen Operationen.

Der Erkenntnisgewinn erfolgt dementsprechend über ein Wechselspiel aus Modellbildung und -nutzung (Stachowiak, 1973). Ein Überblick über dieses Wechselspiel ist in Abbildung 2.2 dargestellt.

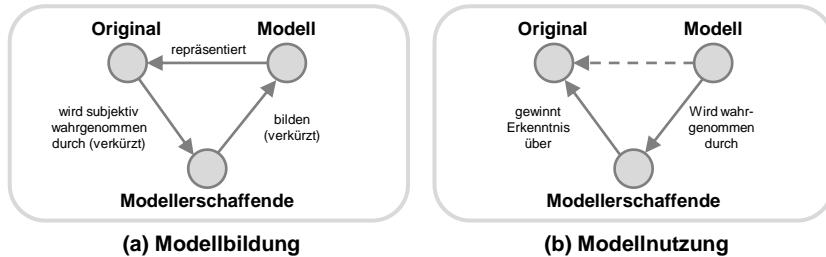


Abbildung 2.2: Modellbildung und -nutzung nach Lohmeyer (2013)

Albers und Lohmeyer (2012) verknüpfen im Rahmen der Produktentwicklung die horizontale und vertikale *Durchgängigkeit* mit der *Konsistenz* von Modellen. Hierbei beschreibt die horizontale Durchgängigkeit die Verwendung von Modellen über den gesamten Produktlebenszyklus mittels einer kontinuierlichen Weiterentwicklung. Die Modifikation des Detaillierungsgrads in Abhängigkeit vom Anwendungsfall wird durch die vertikale Durchgängigkeit beschrieben. Die Konsistenz führt aus, dass in Modellen, welche dasselbe Original repräsentieren, keine Widersprüche existieren dürfen.

Ausgehend von der Systemtheorie der Technik und der allgemeinen Modelltheorie beschreibt Ropohl (1975, 32 f.) den Regelkreis der Ingenierätigkeit. Ziel des Modells ist es, alle Erscheinungen und Probleme mit denen Produktentwickelnde konfrontiert werden zu erfassen. Hierbei wird das sozio-technische System über drei miteinander wechselwirkende Systeme abgebildet: ausgehend von einem *Zielsystem* wird über ein *Handlungssystem* ein *Objektsystem* (Sachsystem) realisiert.

Albers und Braun (2011) beschreiben aufbauend auf diesem Verständnis das *ZHO-Tripel*, demzufolge ein zunächst vages Zielsystem (ZS) durch ein Handlungssystem (HS) in ein zunehmend konkretes Objektsystem (OS) überführt wird. Das Zielsystem wird dabei durch das Handlungssystem beeinflusst, welches wiederum Rückwirkungen aus der Realisierung des generierten Objektsystems erfährt. Dadurch wird ein geschlossener Regelkreis realisiert, welcher in die natürliche, technische, gesellschaftliche Umgebung eingebettet ist. Dieser Ansatz wird durch das *erweiterte ZHO-Modell* von Albers, Ebel und Lohmeyer (2012) fortgeführt und um die Basisaktivitäten der Analyse und Synthese ergänzt (vgl. Abbildung 2.3).

Hierdurch wird die Produktentstehung als kontinuierliches Zusammenspiel von Kreation und Validierung beschrieben (Albers, Behrendt, Klingler & Matros, 2016).

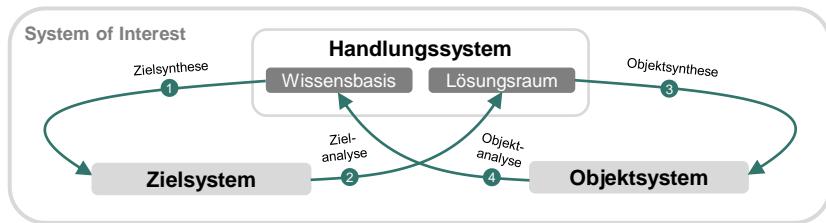


Abbildung 2.3: Erweitertes ZHO-Modell nach Albers, Ebel und Lohmeyer (2012)

Das Handlungssystem stellt ein sozio-technisches System dar, welches alle Aktivitäten, Methoden und Prozesse sowie die erforderlichen Ressourcen (z.B. Budget, Entwickler, Maschinen) zur Transformation zwischen Ziel- und Objektsystem beinhaltet (Albers & Braun, 2011). Basierend auf der Wissensbasis des Handlungssystems wird das Zielsystem synthetisiert.

Das Zielsystem beinhaltet alle, für die Entwicklung des richtigen Produkts relevanten Ziele inklusive ihrer Begründungen sowie Wechselwirkungen und Randbedingungen. Die Ziele beschreiben dabei lösungsoffen den Zielzustand des zu entwickelnden Produkts (Albers & Braun, 2011; Ebel, 2015). Über den Produktlebenszyklus hinweg und insbesondere in der Produktentstehung wird das Zielsystem fortlaufend erweitert und konkretisiert, wodurch die Lösungsoffenheit sukzessive reduziert wird (Gausemeier, Lindemann, Reinhart & Wiendahl, 2000). Ausgehend von der Analyse des Zielsystems wird der Lösungsraum der Produktentwickelnden im Handlungssystem aufgespannt.

Dies ermöglicht die Synthese des Objektsystems, welches alle Dokumente und Artefakte beinhaltet, die in virtueller oder physischer Form im Rahmen des Entwicklungsprozesses entstehen (z.B. Spezifikationen, Simulationsmodelle, Prototypen). Nach abgeschlossener Entwicklung beinhaltet das Objektsystem das vollständige angestrebte Produkt. Der Regelkreis wird durch die anschließende Analyse des Objektsystems geschlossen, welche das bestehende Zielsystem validiert und so die Wissensbasis im Handlungssystem erweitert (Albers & Braun, 2011; Lohmeyer, 2013).

Dieser Regelkreis wird so lange iterativ durchlaufen bis das Produkt den gewünschten Zielzustand erreicht. Hierbei muss eine Vielzahl an unterschiedlichen

Problemen gelöst werden, weswegen im folgenden Abschnitt auf Problemlösungsansätze in der Produktentstehung eingegangen wird.

2.1.2 Problemlösungsansätze in der Produktentstehung

Der Entwicklung von technischen Systemen liegt vereinfacht gesehen ein Problem zugrunde, bei dessen Lösung der denkende und handelnde Mensch im Mittelpunkt steht (Albers, 2011). Infolgedessen ist das Problemlösen eine Kerntätigkeit der Produktentwickelnden. Hierbei wird ein *Problem* als eine überwindbare Barriere zwischen Anfangszustand (Ist) und Zielzustand (Soll) verstanden, wobei weder die Zustände noch die zur Lösung erforderlichen Ressourcen und Hilfsmittel bekannt sind (Ehrlenspiel, 2009; Funke, 2003). Im Gegensatz dazu liegen bei einer Aufgabe Informationen über diese Aspekte vor, sodass keine Barriere besteht. Es ist jedoch möglich, dass aus einer Aufgabe einzelne Teilprobleme resultieren (Bender & Gericke, 2021). Probleme lassen sich nach Funke (2003) anhand von Merkmalen (Intransparenz, Vielzieligkeit, Vernetztheit, (Eigen-)Dynamik) charakterisieren, wobei je nach Ausprägung Empfehlungen zur Unterstützung der Problemlösung bereitgestellt werden (VDI 2221-1:2019; Funke, 2003).

In der Praxis werden Produktentwickelnde häufig mit komplexen Problemen konfrontiert, die alle der genannten Merkmale einschließen. Für ein strukturiertes Lösen dieser Probleme wird daher oftmals auf allgemeingültige Problemlösungsansätze zurückgegriffen. Diese erlauben den Produktentwickelnden ein strukturiertes Generieren von Lösungsalternativen. Hierbei wird zwischen elementaren und operativen Problemlösezyklen unterschieden.

Beispiele für elementare Problemlösezyklen sind das TOTE-Schema (Test-Operate-Test-Exit) oder der PDCA-Zyklus (Plan-Do-Check-Act) (Lindemann, 2009).

Ausgehend von solchen elementaren Regelzyklen können umfassendere operative Problemlösezyklen beschrieben werden. Die *SPALTEN-Methode* nach Albers, Burkhardt, Meboldt und Saak (2005) beschreibt einen solchen Ansatz. Das Akronym SPALTEN steht für die Aktivitäten der Problemlösung: Ausgehend von der Situationsanalyse (SA) und der Problemeingrenzung (PE) werden alternative Lösungen (AL) entwickelt. Basierend auf der Lösungsauswahl (LA) kann eine Tragweitenanalyse (TA) durchgeführt werden, welche das Fundament für die Entscheidung und Umsetzung (EU) ist. In einem letzten Schritt erfolgt auf Basis der gewonnenen Erkenntnisse das Nacharbeiten und Lernen (NL), angelehnt an das kontinuierliche Verbesserungsprinzip (KVP). Zwischen den Aktivitäten werden in Informationschecks (IC) die Informationen hinsichtlich ihrer Qualität und Quantität

für die Bearbeitung im Rahmen des nächsten Schritts geprüft. Analog wird das Problemlösungsteam (PLT) hinsichtlich Qualifikation und Eignung überprüft und falls nötig angepasst. Diese dynamische Anpassung des PLT ist dabei von entscheidender Bedeutung (Albers, Reiss, Bursac & Breitschuh, 2016). Die SPALTEN-Problemlösungsmethodik wird in Abbildung 2.4 zusammengefasst. Hierbei wird insbesondere ersichtlich, dass einzelne Aktivitäten situationsabhängig übersprungen oder wiederholt werden können. Infolgedessen ist das Vorgehen als iterativer und situationsgerechter Problemlösezyklus anwendbar.

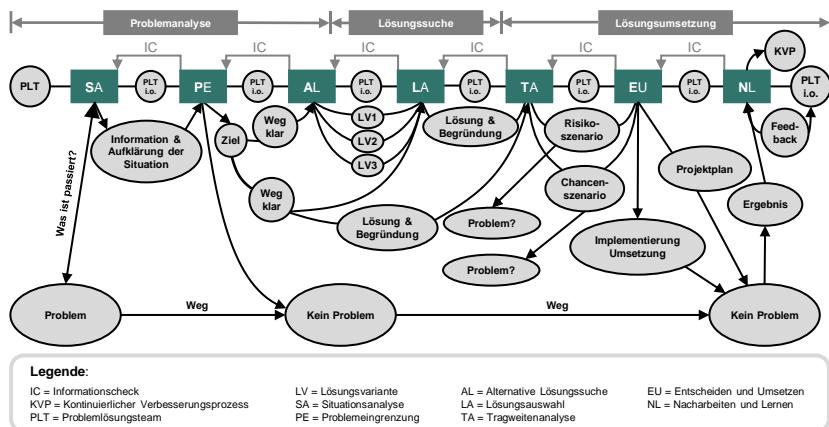


Abbildung 2.4: SPALTEN-Problemlösemethode nach Albers et al. (2005)

Diese Iterationen sind notwendig und können sowohl einen bewussten als auch einen unbewussten Ursprung haben (Bender & Gericke, 2021). Charakteristische Ursachen werden durch Wynn, Eckert und Clarkson (2012) beschrieben. Iterationen treten dabei zumeist im Rahmen von Grundprinzipien des Problemlösens auf: dem *Abstrahieren*, *Zerlegen* und *Variieren* von Problemen (VDI 2221-1:2019).

Gemäß Ponn und Lindemann (2011) modellieren elementare und operative Problemlösezyklen den Produktentwicklungsprozess in einem geringen *Auflösungsgrad*. Infolgedessen sind diese Modelle im Sinne einer Mikrologik des Produktentwicklungsprozesses zu verstehen (vgl. Abbildung 2.5). Modelle der Makrologik werden im folgenden Abschnitt ausgeführt.

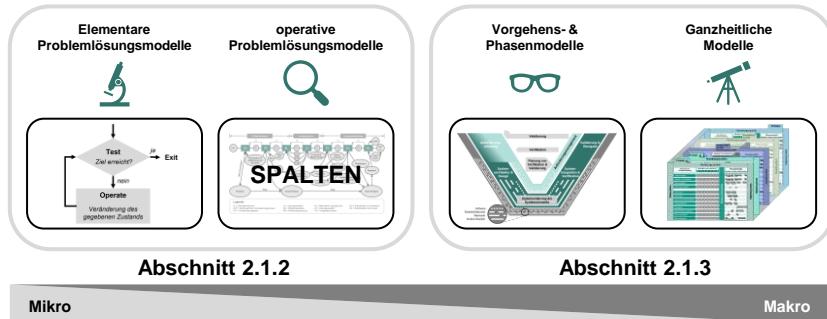


Abbildung 2.5: Auflösungsgrad des Produktentwicklungsprozesses nach Ponn und Lindemann (2011)

2.1.3 Modelle der Produktentstehung

Gemäß der ersten Hypothese der Produktentstehung von Albers (2010) ist jeder Produktentstehungsprozess (PEP) einzigartig und individuell. Aus diesem Grund werden *Vorgehens- und Phasenmodelle* sowie *ganzheitliche Modelle* der Produktentstehung als methodische Unterstützung bei der Identifikation notwendiger Aktivitäten herangezogen.

Erstere beschreiben inhaltlich differenzierte Arbeitsschritte im Rahmen des Produktentstehungsprozesses. Letztere bilden unterschiedliche Auflösungsgrade der Produktentstehung ab und kombinieren dadurch verschiedene Sichten wie die Entwicklung, des Managements oder des Kunden.

Im Folgenden werden zwei in der Praxis etablierte Modelle vorgestellt: das *V-Modell* als Phasen- und Prozessmodell und das *iPeM – integrierte Produktentstehungsmodell*, welches ein ganzheitliches Modell darstellt.

Das V-Modell gemäß Abbildung 2.6 beschreibt ein Vorgehensmodell zur Unterstützung der domänenübergreifenden Entwicklung mechatronischer Systeme. Hierzu wird die logische Abfolge der wesentlichen Teilschritte im Rahmen der Entwicklungsaktivitäten dargestellt. Infolgedessen ist das V-Modell nicht als Ablaufmodell zu verstehen, sondern wird in Abhängigkeit der Entwicklungssituation iterativ durchlaufen (VDI 2206). Hierbei werden drei übergeordnete Phasen unterschieden: der *Systementwurf*, die *Implementierung der Systemelemente* und die *Systemintegration*. Im Rahmen des Systementwurfs werden Anforderungen erhoben und darauf aufbauend Architekturentwürfe erarbeitet und bewertet.

Hierfür ist es notwendig das Gesamtsystem in Subsysteme zu zerlegen. Gleichzeitig werden Validierung- und Verifikationsmaßnahmen zur Absicherung des Systementwurfs geplant. Der Systementwurf dient als Basis für die Implementierung der Systemelemente, sodass die Teilsysteme im Rahmen der Systemintegration wieder zum Gesamtsystem integriert und *verifiziert* sowie *validiert* werden können. Hierbei wird im Rahmen der Verifikation die Anforderungserfüllung überprüft, wohingegen die Validierung die Absicherung gegenüber den Bedarfen verfolgt (INCOSE, 2015). Ein kontinuierliches Validieren und Verifizieren über den gesamten PEP sind demzufolge unerlässlich für eine erfolgreiche Entwicklung. Hier zeigen sich Limitationen des V-Modells, da aufgrund der starken Phasenorientierung des Modells bei realen Entwicklungsprozessen nur begrenzte Anforderungsänderungen über den Projektverlauf hinweg möglich sind. Dies widerspricht jedoch dem Grundgedanken einer kontinuierlichen Validierung, welche sukzessive neue Erkenntnisse ermöglicht und daher nicht auf einzelne, abgeschlossene Projektphasen eingeschränkt werden sollte (Albers, Behrendt et al., 2016; Gausemeier & Plass, 2014).

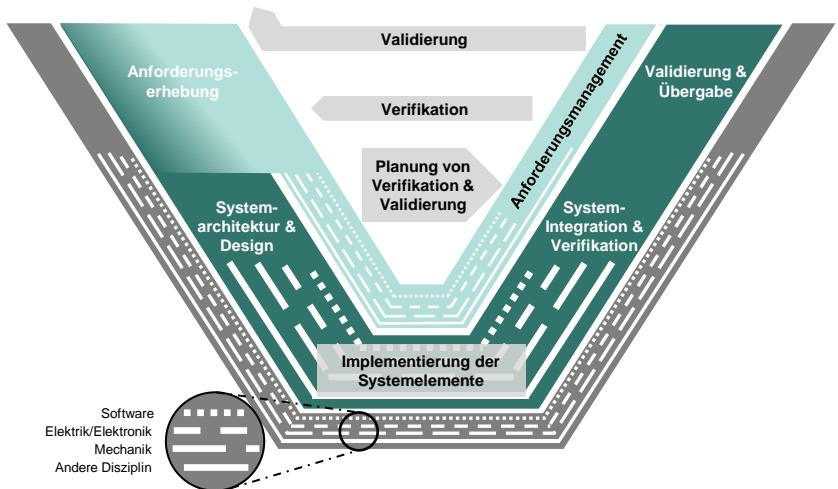


Abbildung 2.6: V-Modell für den Entwurf mechatronischer Systeme nach VDI 2206 (2020)

Das in Abbildung 2.7 dargestellte iPeM – integrierte Produktentstehungsmodell kombiniert die managementorientierte Sicht und die Entwicklersicht im Produktentstehungsprozess (Albers, Braun & Muschik, 2010). Als Metamodell enthält das iPeM alle notwendigen Elemente, um individuelle Problemstellungen in

verschiedenen Auflösungsgraden zu modellieren (Albers & Braun, 2011). Das iPeM basiert dabei auf dem ZHO-Modell (Abschnitt 2.1.1). Im Handlungssystem werden Aktivitäten der Produktentwicklung (Makroebene) mit den Aktivitäten der Problemlösung nach SPALTEN (Mikroebene) verknüpft, in einer Aktivitätenmatrix dargestellt und im Phasenmodell zeitlich verortet. Die Aktivitäten der Produktentwicklung werden dabei in *Kernaktivitäten* (u.a. Profile finden, Ideen finden etc.) und *Basisaktivitäten* (u.a. Projekte managen, validieren und verifizieren etc.) unterteilt. Erstere beschreiben notwendige Aktivitäten zur Steigerung des Produktreifegrads wohingegen Letztere ergänzend zu den Kernaktivitäten durchgeführt werden, um diese zu unterstützen. Das Phasenmodell ermöglicht die iterative Planung und Dokumentation der Aktivitäten über den Entwicklungsverlauf. Hierbei werden sowohl der Referenzprozess der vorherigen Systemgeneration als auch Soll- und Ist-Prozess abgebildet.

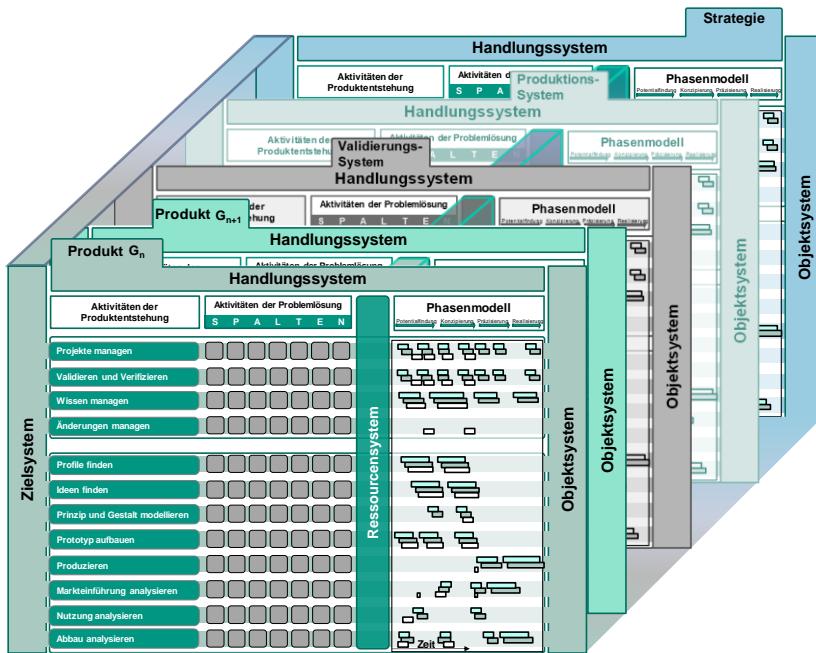


Abbildung 2.7: iPeM – integriertes Produktentstehungsmodell nach Albers, Reiss, Bursac und Richter (2016)

Um eine integrierte Betrachtung der Produktentwicklung zu ermöglichen, wird das iPeM in mehrere Ebenen aufgeteilt. Dies ermöglicht die Berücksichtigung von

weiteren, sich in Entwicklung befindlichen, Systemgenerationen sowie von Validierung, Produktion und Strategie. Jede Ebene kann als eigenständiger Entwicklungsprozess verstanden werden, wobei die Ebenen über ein gemeinsames Ziel- und Ressourcensystem in Wechselwirkung stehen (Albers & Braun, 2011; Albers, Reiss, Bursac & Richter, 2016). Das iPeM stellt somit ein umfassendes Rahmenwerk für die Modellierung von individuellen Problemstellungen bereit und ermöglicht dadurch eine geplante Produkt- bzw. Systemgenerationsentwicklung.

2.2 Modell der SGE – Systemgenerationsentwicklung: Referenzbasiertes Entwickeln

Innovationen spielen eine Schlüsselrolle in der Sicherstellung des langfristigen Markterfolgs eines Unternehmens (Gaubinger, Werani & Rabl, 2009). Hierbei ist die nachvollziehbare Berücksichtigung der Bedarfssituation essenziell zur Entwicklung von Produkten mit hohem Innovationspotenzial (Albers, Heimicke, Hirschter et al., 2018). Das Modell der SGE – Systemgenerationsentwicklung nach ALBERS bildet ein Beschreibungsmodell, welches Aktivitäten zur Steigerung des Innovationspotenzials unterstützt, gleichzeitig jedoch das Entwicklungsrisiko minimiert (Albers et al., 2015). Insbesondere im Rahmen der Frühen Phase von Entwicklungsprojekten, welche sich durch eine hohe Hebelwirkung auszeichnet, kann so der Projektverlauf nachhaltig beeinflusst werden (Cooper & Kleinschmidt, 1993).

2.2.1 Innovationsverständnis und Produktprofil

Der Innovationsbegriff beschreibt nach Schumpeter (1939) *Inventionen*, d.h. Erfindungen, die erfolgreich am Markt etabliert wurden. Infolgedessen ist die Berücksichtigung der Bedarfssituation essenziell für die Entwicklung und insbesondere Etablierung innovativer Produkte (Hirschter et al., 2018; Johne & Snelson, 1988). Albers, Heimicke und Hirschter et al. (2018) greifen dieses Verständnis auf und folgern, dass neben einer Invention und deren *Marktdurchdringung* (i.S.v. Diffusion) gleichermaßen die *zielgerichtete Markteinführung* sowie die Identifikation der Bedarfssituation in Form eines *Produktprofils* eine *Innovation* charakterisieren.

Hierbei fokussiert sich das Produktprofil auf die Beschreibung des *Nutzenbündels* aus *Kunden-, Anwender- und Anbietersicht* und unterstützt damit ein detailliertes Verständnis der Bedarfssituation.

Albers, Heimicke, Walter et al. (2018) definieren das Produktprofil wie folgt (vgl. Definition 1):

Definition 1: Produktprofil nach Albers, Heimicke und Walter et al. (2018)

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 Systemgeneration explizit vorgibt. Ein *Nutzenbündel* wird hierbei verstanden als eine Gesamtheit aus Produkten und Dienstleistungen, 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.

Das Produktprofil definiert den zulässigen Lösungsraum für die Produktentwicklung, spezifiziert jedoch nicht explizit die technische Lösung. Wenn es bereits in einer sehr frühen Phase eines Entwicklungsprojekts erstellt wird, kann es als Ausgangspunkt für die Ausrichtung der Entwicklungsaktivitäten dienen. Darüber hinaus behält das Produktprofil seine Relevanz im Verlauf des Entwicklungsprozesses, da es in Verbindung mit einem durchgängigen Änderungsmanagement den angestrebten Nutzen einer kontinuierlichen Validierung zugänglich macht. Aus diesen Gründen ist die systematische Entwicklung von Produktprofilen ein wesentlicher Bestandteil für den Erfolg des Projekts (Albers, Heimicke, Walter et al., 2018). Ein möglicher Aufbau wird in Abbildung 2.8 dargestellt.

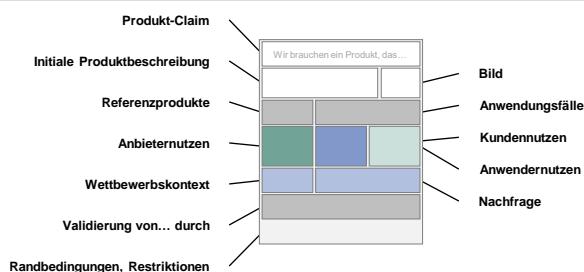


Abbildung 2.8: Struktur und Aufbau eines generischen Produktprofils nach Albers, Heimicke und Walter et al. (2018)

Zusätzlich zu den *Produktinnovationen*, die sich aus dem Produktprofil ableiten, werden in der Literatur ebenso *Prozessinnovationen* beschrieben, die ebenfalls in spezifischen Profilen modelliert werden können (Utterback & Abernathy, 1975). Innovationen werden häufig anhand des Neuigkeits- oder Veränderungsgrads der technischen Lösung unterschieden (Dewar & Dutton, 1986; Ettlie, Bridges & O'Keefe, 1984; Johannessen, Olsen & Lumpkin, 2001). Henderson und Clark (1990) differenzieren dazu vier *Innovationsarten*: *Inkrementelle Innovationen*, *architekturelle Innovationen*, *modulare Innovationen* und *radikale Innovationen*. Während inkrementelle Innovationen eine vergleichsweise geringe Veränderung der technischen Lösung erfahren, steigt diese Adaption zu den radikalen Innovationen an – und damit auch das ökonomische Risiko und das Innovationspotenzial. Gemäß Albers et al. (2015) kann die Klassifizierung von Innovationen jedoch nur retrospektiv nach erfolgreicher Einführung im Markt erfolgen. Hierfür ist es entscheidend, dass das angebotene Produkt die Bedarfe der Kunden erreicht oder sogar übertrifft. Zur Abschätzung des Innovationspotenzials während der Entwicklung und zur Bewertung eines Produkts nach der Markteinführung wird daher häufig das Kano-Modell herangezogen (Kano, Seraku, Takahashi & Tsuji, 1984).

Das *Kano-Modell* beschreibt den Zusammenhang zwischen dem Erfüllungsgrad von Bedarfen und der daraus resultierenden Kundenzufriedenheit und kann somit zur Identifikation von Differenzierungs- und Kommunikationspotenzialen genutzt werden. Hierbei werden Basis-, Leistungs- und Begeisterungsmerkmale unterschieden. *Basismerkmale* sind aus Kundensicht selbstverständlich und führen bei Nichterfüllung zu einer starken Unzufriedenheit. *Leistungsmerkmale* weisen einen linearen Zusammenhang zwischen Erfüllungsgrad und resultierender Zufriedenheit auf. *Begeisterungsmerkmale* werden von den Kunden nicht unbedingt erwartet, führenden jedoch bei Erfüllung zu einer überproportionalen Nutzensteigerung (Kano et al., 1984). Zu beachten ist dabei, dass die Merkmale nicht statisch sind, sondern Begeisterungsmerkmale mit der Zeit zu Leistungs- und schließlich zu Basismerkmalen degradieren (Albers et al., 2015). Auf Basis von Leistungs- und Begeisterungsmerkmalen sowie einer gezielten Differenzierung müssen Anbieter somit das Innovationspotenzial neuer Systemgenerationen ausschöpfen (Albers et al., 2015; Sauerwein, Bailom, Matzler & Hinterhuber, 1996). Gleichzeitig streben Unternehmen ein möglichst geringes Entwicklungsrisiko bei größtmöglichen Effizienzpotenzialen an und bevorzugen daher bekannte Lösungen mit geringem Variationsanteil (Ehrlenspiel & Meerkamm, 2013; Lindemann, 2009).

Aus diesem Grund ist eine strukturierte und geplante Produkt- bzw. Systemgenerationsentwicklung die Basis für erfolgreiche Entwicklungsprojekte. Die damit verbundenen Grundlagen werden im folgenden Abschnitt eingeführt.

2.2.2 Grundlagen des Modells der SGE

Die retrospektive Klassifizierung von Innovationen in unterschiedliche Innovationsarten (vgl. Abschnitt 2.2.1) anhand des Neuigkeits- oder Veränderungsgrads ist eng mit Betrachtungen der *klassischen Konstruktionsmethodik* verbunden. Hier unterscheiden Pahl, Beitz, Feldhusen und Grote (2007) drei Konstruktionstypen. *Neukonstruktionen* beschreiben die Verwendung neuer Lösungsprinzipien oder die erstmalige Kombination bekannter Prinzipien. *Anpassungskonstruktionen* bauen auf bekannten Lösungsprinzipien auf und passen diese an veränderte Randbedingungen an. *Variantenkonstruktionen* beschreiben dahingegen die Verwendung bekannter Lösungsprinzipien in ihren originären Randbedingungen.

In der Praxis lassen sich diese Konstruktionstypen jedoch nicht eindeutig und trennscharf feststellen (Pahl et al., 2007). Gleichzeitig kommen Neukonstruktionen in der Praxis nur selten vor und stehen im Widerspruch zur effizienten und risikominimalen Umsetzung des Entwicklungsprojekts (Albers et al., 2015; Deubzer & Lindemann, 2009; Eckert, Alink & Albers, 2010). Diese risikoanalytische Sicht führt in Kombination mit dem Innovationsverständnis zu einem Zielkonflikt. Eine möglichst weitreichende Differenzierung des Produkts (und damit ein großes Innovationspotenzial) soll bei einer größtmöglichen Verwendung bestehender technischer Lösungen (zur Kosten- und Risikominimierung) realisiert werden (Albers, Reiss, Bursac, Urbanec & Lüdcke, 2014).

Diesem Grundsatz folgend führen Albers et al. (2015) das Modell der *PGE – Produktgenerationsentwicklung* als praxisnahes und wissenschaftlich begründetes Beschreibungsmodell ein. Da die Entwicklung von Produkten gemäß Ropohl (1975) auch als Entwicklung von Systemen und untergeordneten Subsystemen verstanden werden kann, wird das Modell der PGE zu einem Modell der *SGE – Systemgenerationsentwicklung* erweitert (Albers, Rapp et al., 2020; Albers & Rapp, 2022). Systemgenerationsentwicklung wird nach Albers und Rapp (2022) wie folgt definiert (vgl. Definition 2):

Definition 2: Systemgenerationsentwicklung nach Albers und Rapp (2022)

Als **Systemgenerationsentwicklung** wird die Entwicklung soziotechnischer Systeme verstanden, die sowohl durch die Anpassung von Teilsystemen [...] als *Übernahmevariation* [...] als auch durch eine Neuentwicklung von Teilsystemen charakterisiert ist. Darin eingeschlossen sind sowohl die Entwicklung einer neuen Produktgeneration, als auch deren Derivate bzw. Varianten. Die Anteile technischer Neuentwicklungen einzelner Funktionseinheiten können sowohl durch die Aktivität *Ausprägungsvariation* [...] als auch durch die Variation von Lösungsprinzipien – [...] als Aktivität *Prinzipvariation* [...] bezeichnet – erfolgen. Neue *Systemgenerationen* basieren immer auf Referenzen, die große Bereiche der grundsätzlichen Struktur vorgeben. Wird das zu entwickelnde System als Produkt wahrgenommen spricht man auch von PGE – Produktgenerationsentwicklung.

Das Modell der SGE beruht dabei gemäß der Definition auf zwei elementaren Grundsätzen (Albers et al., 2015; Albers, Rapp et al., 2019):

- Die Entwicklung einer neuen Systemgeneration basiert immer auf Referenzen (z.B. Vorgängergeneration, Wettbewerbsprodukte etc.) die in einem *Referenzsystem* zentrale *Referenzsystemelemente* bilden und große Bereiche von Gestalt und Struktur des neuen Systems vorgeben.
- Die Gestalt und Struktur des zu entwickelnden Systems ergibt sich durch die systematische Kombination der Aktivitäten von *Übernahme-, Gestalt- bzw. Ausprägungs- und Prinzipvariation* auf Basis des Referenzsystems.

Demnach werden Produkte in Generationen entwickelt und sind dementsprechend als sogenannte *Systemgenerationen* zu verstehen. Die Bezeichnung und Unterscheidung von Systemgenerationen erfolgen nach Albers et al. (2015) anhand einer einheitlichen mathematischen Nomenklatur (vgl. Formel 1).

Systemgeneration G_i

1

für Generationen $i \in \mathbb{N}$

Hierbei wird die erste Systemgeneration ohne direkten Vorgänger als $G_{i=1}$ bezeichnet (Albers et al., 2021). $G_{i=n}$ bezeichnet diejenige Systemgeneration, die sich aktuell in der Entwicklung befindet und als nächstes in den Markt eingeführt wird. Folglich bezeichnet G_{n-1} die aktuell im Markt befindliche Systemgeneration. In

Abhängigkeit der Taktung der Produkte und der jeweiligen Entwicklungszeit (*engl.*: time to market) können sich mehrere Systemgenerationen parallel in der Entwicklung befinden. So befindet sich bspw. in der Automobilindustrie häufig die G_{n+1} in der Frühen Phase bevor die G_n ihre Markteinführung erfährt (Heitger, 2019). Eine umfassendere Nomenklatur im Modell der SGE, unter anderem unter Berücksichtigung von Produktlinien und -varianten, wird von Albers, Fahl et al. (2020) und Schlegel et al. (2023) beschrieben.

Die *Variationsarten*, die gemäß dem zweiten Grundsatz die Struktur und Gestalt der neuen Systemgeneration bestimmen, werden im Modell der SGE durch den *generischen Variationsoperator* wie folgt beschrieben (Albers et al., 2015; Albers, Rapp et al., 2020):

- Eine *Übernahmevariation* (ÜV) ist eine Aktivität, bei der ausschließlich die Schnittstellen eines Systemelements in der neuen Systemgeneration angepasst, die Gestalt und das Lösungsprinzip jedoch übernommen werden.
- Eine *Gestaltvariation* (GV) ist eine Aktivität, bei der das zugrundeliegende Lösungsprinzip mitsamt aller inhärenten Elementen und Verknüpfungen übertragen, jedoch zumindest teilweise in seiner Gestalt variiert wird. Die Gestaltvariation kann zur *Ausprägungsvariation* (AV) verallgemeinert werden, die gemäß einem systemtheoretischen Ansatz auf alle Systemelemente angewendet werden kann. Dies ist insbesondere bei mechatronischen Systemen wichtig, da diese Variationsarten damit z.B. auch für elektrotechnische oder informationstechnische Strukturen bzw. Architekturen gelten.
- Eine *Prinzipvariation* (PV) ist eine Aktivität, bei der ein neues Lösungsprinzip eines Systemelements durch Hinzufügen und/oder Entfernen inhärenter Elemente und Verknüpfungen realisiert wird.

Eine neue Systemgeneration G_n setzt sich demzufolge aus der vereinigten Menge der Systemelemente, die durch die drei Variationsarten entwickelt werden, zusammen (vgl. Formel 2).

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

$\dot{U}S_n$: Menge der Systemelemente, die durch ÜV entwickelt werden. 2

AS_n : Menge der Systemelemente, die durch AV entwickelt werden.

PS_n : Menge der Systemelemente, die durch PV entwickelt werden.

Darauf aufbauend lässt sich der jeweilige *Variationsanteil* δ für eine Systemgeneration bestimmen (vgl. Formel 3 für $\delta_{\dot{U}S_n}$, analog für δ_{AS_n} und δ_{PS_n}),

wobei insbesondere der Anteil an PV vom vorhandenen Wissen des Anbieters abhängt.

$$\delta_{\ddot{U}S_n} = \frac{|\ddot{U}S_n|}{|G_n|} = \frac{|\ddot{U}S_n|}{|\ddot{U}S_n \cup AS_n \cup PS_n|} \quad 3$$

Über die Verteilung der Variationsanteile können das Gesamtrisiko sowie die Differenzierungsmerkmale und damit das Innovationspotenzial gesteuert werden (Albers, Rapp, Birk & Bursac, 2017). Infolgedessen ermöglicht das Modell der SGE durch die Systematisierung von Referenzen eine strukturierte Planung und Beschreibung der Entwicklungsaufgabe. Die Relevanz des Modells wird durch umfangreiche Anwendung in der Praxis belegt (Albers, Haug et al., 2016; Albers, Bursac & Rapp, 2017; Albers, Fahl et al., 2020).

2.2.3 Referenzsystem im Modell der SGE

Die Entwicklung einer neuen Systemgeneration beruht gemäß dem ersten Grundsatz des Modells der SGE immer auf Referenzen (Albers et al., 2015). Die einzelnen Elemente, die als Referenz dienen, spannen ein *Referenzsystem* auf, welches gemäß Albers und Rapp et al. (2019) ebenfalls mathematisch beschrieben werden kann (vgl. Formel 4).

Referenzsystem R_i

4

für Generationen $i \in \mathbb{N}$

Das Referenzsystem beschreibt ein Bezugssystem, welches verschiedene *Referenzsystemelemente* (RSE) sowie deren Wechselwirkungen beinhaltet. Die RSE können aus bereits bestehenden oder geplanten sozio-technischen Systemen entstammen. Albers, Rapp, Heitger, Wattenberg und Bursac (2018) differenzieren dabei grundsätzlich *interne RSE*, welche aus demselben Unternehmen stammen, und *externe RSE*, die einen Ursprung außerhalb der Organisation haben.

Lösungsspezifische RSE können die Basis für die technische Lösungsfindung im Rahmen der Synthese des Objektsystems der aktuellen Systemgeneration darstellen. Eine wesentliche Quelle für mögliche lösungsspezifische RSE stellen Referenzprodukte in Form von Vorgängermodellen, Wettbewerbsprodukten oder Produkten fremder Branchen dar. Darüber hinaus können jedoch ebenso die zugehörigen Erfahrungen, Projektdokumente, Validierungsergebnisse etc. als RSE modelliert werden. (Albers, Haug et al., 2016; Albers, Heitger et al., 2018).

Lösungsoffene RSE wie Ziele und Anforderungen können ebenfalls als Referenz genutzt werden, um bspw. die Differenzierung zu Wettbewerbsprodukten oder die Abgrenzung von der Vorgänger-Systemgeneration im Rahmen der Zielsystembildung zu beschreiben (Albers, Haug et al., 2016). Weitere Formen von RSE können bspw. Prozesse, Methoden, Tools und Organisationstrukturen sein, die bei der Entwicklung des Handlungssystems unterstützen. Infolgedessen können RSE für die Entwicklung der aktuellen Systemgeneration im Ziel-, Handlungs- und Objektsystem (Abschnitt 2.1.1) herangezogen werden (Albers, Rapp et al., 2019; Albers, Kempf et al., vsl. 2025).

Dem zweiten Grundsatz des Modells der SGE folgend, werden die RSE des Referenzsystems R_i durch die Aktivitäten der Übernahme-, Ausprägungs- und Prinzipvariation systematisch in die neue Systemgeneration G_i überführt. Dieser Ablauf ist exemplarisch in Abbildung 2.9 dargestellt. Explizit ausgeschlossene RSE werden dabei ebenfalls inklusive der entsprechenden Begründung modelliert. Die Zuordnung zwischen Referenzsystem R_i und einer spezifischen Systemgeneration G_i ist demzufolge eindeutig. Das Systemgenerations-spezifische Referenzsystem wird daher im Verlauf der Produktentwicklung kontinuierlich über Synthese- und Analyseschritte weiterentwickelt und angepasst (Albers, Rapp et al., 2019).

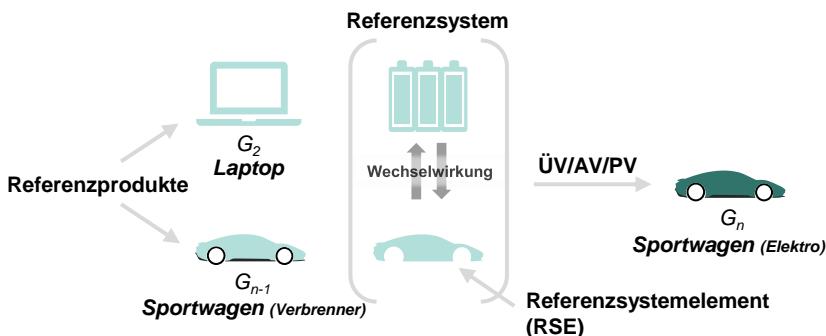


Abbildung 2.9: Referenzsystem im Modell der SGE nach Albers und Rapp et al. (2019)

Die im Modell der SGE beschriebenen Grundsätze lassen sich nicht nur in der Beziehung von bestehenden bzw. geplanten Systemen und einem in der Entwicklung befindlichen System beobachten. Stattdessen kann auch der Entwicklungsprozess der Systemgeneration G_i in einzelne Entwicklungsschritte, sogenannte *Entwicklungsgenerationen*, gegliedert werden (Albers, Bursac & Rapp,

2016). Somit wird der Reifegrad des Produkts von einer initialen Idee über eine Vielzahl von Entwicklungsgenerationen bis zum finalen Produkt inkrementell erhöht.

Als Beispiele aus der Praxis können die Sprint Planung aus dem agilen Projektmanagement oder die, in der Automobilindustrie etablierte, Meilensteinlogik gemäß dem Stage-Gate-Modell dienen (Cooper, 1994; Wessels et al., 2019). Übertragen auf das Konstrukt der Entwicklungsgenerationen folgt aus den Grundsätzen der SGE, dass Entwicklungsgenerationen ebenso auf einem Referenzsystem beruhen, welches durch die Anwendung der drei Variationsarten in die neue Entwicklungsgeneration überführt wird (Albers, Haug, Heitger, Fahl & Hirschter, 2019).

Entsprechend wird die Nomenklatur zur Bezeichnung von Entwicklungsgenerationen abgeleitet (vgl. Formel 5).

Entwicklungsgeneration $E_{i,j}$

5

für Generationen $i, j \in \mathbb{N}$

Hierbei beschreibt die Generation i die übergeordnete Systemgeneration, wohingegen die Generation j die fortlaufende Entwicklungsgeneration beschreibt. Abbildung 2.10 zeigt dieses Verständnis exemplarisch. Zu beachten ist, dass die Anzahl der Entwicklungsgenerationen spezifisch für jede Systemgeneration vom jeweiligen PEP abhängt, da nach Albers (2010) jeder PEP einzigartig ist. Analog zum hierarchischen Konzept nach Ropohl (1975) können Entwicklungsgenerationen fraktal, d.h. auf mehreren Systemebenen, modelliert werden (Albers, Haug et al., 2019).

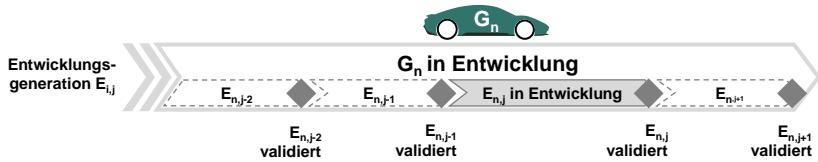


Abbildung 2.10: Entwicklungsgenerationen im Modell der SGE nach Albers und Haug et al. (2019)

2.2.4 Frühe Phase im Modell der SGE

Der *Frühen Phase* des Produktentstehungsprozesses wird eine besondere Rolle zugesprochen, da sie durch maßgeblichen Einfluss auf den nachfolgenden Verlauf

und Erfolg des Entwicklungsprojektes gekennzeichnet ist (Cooper & Kleinschmidt, 1993). Hintergrund ist insbesondere die Hebelwirkung auf nachgelagerte Prozesse, wodurch die Frühe Phase Entwicklungszeit, Kosten und Qualität in einem hohen Maß beeinflusst (Albers, Rapp et al., 2017). Der Aufwand um bereits getroffene Entscheidungen zu revidieren ist dabei geringer als in späteren Phasen, u.a. da teilweise keine oder weniger physische Produktänderungen erforderlich sind (Ehrlenspiel & Meerkamm, 2013).

Dies wird insbesondere auch beim sogenannten *Frontloading* aufgegriffen, welches die Strategie beschreibt, wichtige Prozessschritte auf frühere Zeitpunkte im Produktentstehungsprozess zu verlagern (Lehmann, Beyer, Cohnitz & Bub, 2009; Thomke & Fujimoto, 2000). Gleichzeitig beschreiben Grabowski und Geiger (1997) im *Paradox der Produktentwicklung*, dass die Möglichkeit der Einflussnahme in der Frühen Phase der fehlenden Möglichkeit zur Tragweitenanalyse der getroffenen Entscheidungen gegenübersteht. Im Gegensatz dazu können in späteren Phasen die Auswirkungen nachvollzogen werden, Änderungen sind jedoch meistens nur in geringem Umfang möglich bzw. mit hohen Kosten verbunden.

Die Frühe Phase kann durch verschiedene Charakteristika wie bspw. eine hohe Unsicherheit, einen typischerweise geringen Dokumentationsgrad und eine häufig informelle Kommunikation beschrieben werden (Verworn, 2005). Eine allgemein gültige Beschreibung ist aufgrund des geringen Strukturierungsgrads jedoch nur bedingt möglich. Aus diesem Grund existieren in der Literatur verschiedene Ausführungen zur prozessualen und zeitlichen Verortung der Frühen Phase (Bursac, 2016). Insbesondere bei Innovationsprojekten wird die Frühe Phase häufig als „front end of innovation“ verstanden, im Zuge dessen verschiedene Ideen generiert und bewertet werden (Cooper & Kleinschmidt, 1993; Khurana & Rosenthal, 1997; Koen et al., 2001). Die Frühe Phase endet diesem Verständnis nach mit der positiven Entscheidung für ein Entwicklungsprojekt und dem Übergang in einen formalisierten Produktentstehungsprozess.

Das Verständnis nach Muschik (2011) konkretisiert den Abschluss der Frühen Phase. Demzufolge endet die Frühe Phase mit einer bewerteten *Produktspezifikation*, welche insbesondere die Ziele und Anforderungen sowie verwendete Technologien und Subsysteme beschreibt. Auf Basis des Modells der SGE kann dieses Verständnis weiterentwickelt werden und wird nach Albers und Rapp et al. (2017) wie folgt definiert (vgl. Definition 3):

Definition 3: Frühe Phase nach Albers und Rapp et al. (2017)

Die **Frühe Phase der SGE – Systemgenerationsentwicklung** ist eine Phase im Entwicklungsprozess einer neuen Systemgeneration, die mit der *Initiierung* eines Projektes beginnt und mit einer bewerteten technischen Lösung endet, die 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 z.B. der Produzierbarkeit, der notwendigen Ressourcen sowie des technischen und ökonomischen Risikos.

Die Frühe Phase der SGE kann demzufolge wie in Abbildung 2.11 dargestellt eingeordnet werden. Zur *initialen Zielsystembildung* beschreiben Albers und Heitger et al. (2018) einen mehrstufigen Referenzprozess, im Zuge dessen ein *initiales Produktprofil* entwickelt und bewertet wird. Grundlage dafür bildet die Analyse und Bewertung der endogenen Entwicklungssituation hinsichtlich bestehender technischer Lösungen (z.B. Baukästen) und möglicher Referenzprojekte im Unternehmen. Im nächsten Schritt werden exogene Größen (z.B. Wettbewerb, Technologien) im Rahmen einer Umfeldanalyse und -prognose beschrieben. Aufbauend auf den Analyseergebnissen wird das initiale Produktprofil erstellt und, unter Berücksichtigung von Wechselwirkungen innerhalb des Produktprofils, im Abgleich mit den zur Verfügung stehenden Technologien bewertet.

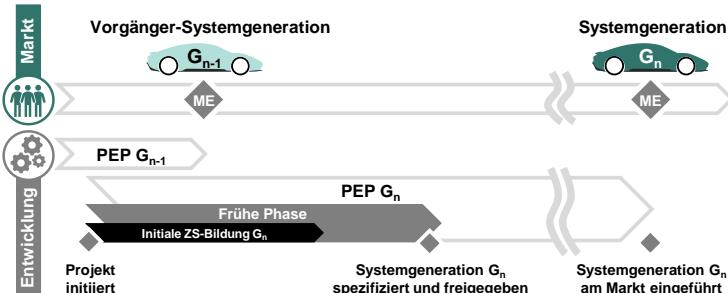


Abbildung 2.11: Frühe Phase der SGE nach Albers und Rapp et al. (2017)

In der Fahrzeugentwicklung wird das initiale Produktprofil häufig in der Form eines *Eigenschaftsprofils* dargestellt, ein beispielhafter Auszug ist in Abbildung 2.12 dargestellt (Heitger, 2019; Hirscher et al., 2018).

Das Eigenschaftsprofil beschreibt den Kunden-, Anwender- und Anbieternutzen durch die Ausprägung von produktspezifischen, kundenerlebbaren Eigenschaften (Albers, Heitger et al., 2018).

Kundenerlebbare Eigenschaften beschreiben dabei das gewünschte Soll-Produktverhalten lösungsoffen und können fraktal angewendet werden. Infolgedessen können Eigenschaften und die vorgegebenen Ausprägungen für eine eigenschaftsbasierte Anforderungsdefinition herangezogen werden. Hierdurch wird insbesondere eine frühzeitige Fokussierung auf Differenzierungsmerkmale und die damit verbundenen Bedarfe ermöglicht (Ponn & Lindemann, 2011; Wiedemann, 2014).

Im Eigenschaftsprofil werden die Ausprägungen der Eigenschaften gegenüber einem Referenzsystemelement bzw. -produkt definiert. Hierbei kann es sich z.B. um eine Vorgänger-Systemgeneration handeln. Zudem werden die Eigenschaften anhand ihrer Kundenrelevanz priorisiert. Dies geschieht mittels einer Zuordnung zu Basis-, Leistungs- und Begeisterungsmerkmalen gemäß dem Kano-Modell (vgl. Abschnitt 2.2.1) und ggf. einer Positionierung im Wettbewerbsumfeld (Hirscher et al., 2018). Somit kann das Eigenschaftsprofil auch zur internen und externen strategischen Produktpositionierung dienen.

Diese wird insbesondere im Systems Engineering aufgegriffen, um darauf aufbauend die Bedarfssituation zu beschreiben und den folgenden Entwicklungsprozess nachvollziehbar daran auszurichten (INCOSE, 2015). Die Grundlagen des Systems Engineerings werden im folgenden Abschnitt eingeführt.

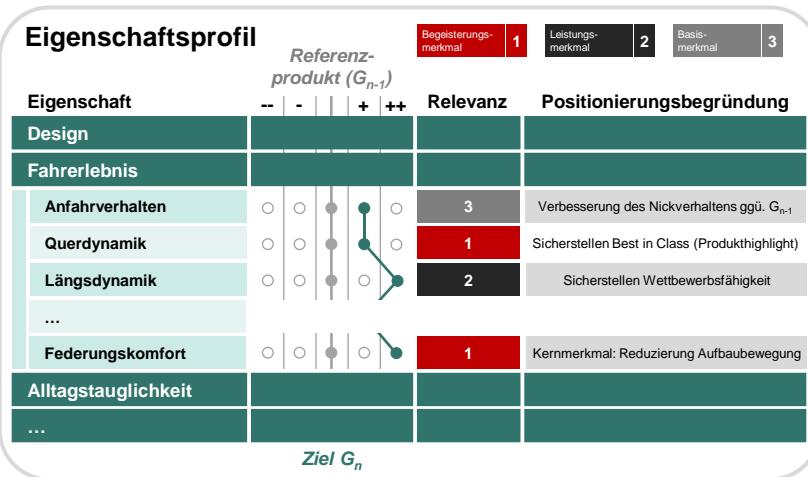


Abbildung 2.12: Beispielhaftes Eigenschaftsprofil nach Hirschter et al. (2018)

2.3 SE – Systems Engineering: Entwicklung komplexer Produkte

Zur Erfüllung des antizipierten Kunden-, Anwender- und Anbieternutzens ist bei der Entwicklung komplexer Systeme eine konsequente *Bedarfsorientierung* erforderlich. Dies bedeutet, dass die Erfüllung der Bedarfe der Stakeholder durch das Gesamtsystem gewährleistet werden muss (INCOSE, 2015). Stakeholder sind dabei Anspruchsgruppen in Form von Personen oder Organisationen, die ein berechtigtes Interesse an einem System oder dessen Eigenschaften haben (ISO 29148). Sie umfassen daher neben den Kunden, den Anwendern und dem Anbieter auch weitere betroffene, jedoch nicht notwendigerweise mit dem System interagierende Anspruchsgruppen (z.B. Gesellschaft). Gemäß der systemtheoretischen Annahme, dass ein System mehr als die Summe seiner Elemente ist (vgl. Abschnitt 2.1.1) ist es zur Sicherstellung der Bedarfsorientierung erforderlich, neben den Systemelementen insbesondere auch die Wechselwirkungen zwischen den Subsystemen zu betrachten (Huth & Vietor, 2020).

Eine solche *ganzheitliche Betrachtung* zur Entwicklung technischer Systeme wird durch den Ansatz des SE – Systems Engineering ermöglicht, der hierfür geeignete Prozesse und Methoden beschreibt (Gausemeier, Dumitrescu et al., 2013).

Unter Berücksichtigung von weiteren Handlungsfeldern kann dieser Ansatz zum ASE – Advanced Systems Engineering erweitert werden (Dumitrescu et al., 2021). Aufgrund der zunehmenden Digitalisierung und Vernetzung von Produkten und der damit einhergehenden Markt- und Entwicklungskomplexität rückt (Advanced) Systems Engineering zunehmend verstärkt in den Fokus von verschiedensten Industrien und der Wissenschaft (Albers & Lohmeyer, 2012; Dumitrescu et al., 2021; Gausemeier, Dumitrescu et al., 2013).

2.3.1 Grundsätze des SE

Die Prozesse und Methoden des *SE* – *Systems Engineering* werden zur Anwendung in der Entwicklungspraxis von dem *International Council on Systems Engineering (INCOSE)* im Rahmen des „*Systems Engineering Handbooks*“ beschrieben. Zu diesem Zweck werden systemtheoretische Ansätze und erwiesene Praktiken der Produktentwicklung vereint (Bajzek, Fritz & Hick, 2021). SE beschreibt demzufolge einen interdisziplinären Ansatz zur Anleitung der Produktentwickelnden bei der Entwicklung komplexer Systeme (Kossiakoff, 2011). Nach INCOSE (2015) wird SE wie folgt definiert (vgl. Definition 4¹):

Definition 4: Systems Engineering nach INCOSE (2015)

SE – Systems Engineering ist ein *interdisziplinärer Ansatz* zur Unterstützung der Realisierung von erfolgreichen Systemen. SE fokussiert darauf, die *Kundenbedürfnisse* und die geforderte Funktionalität möglichst früh im Entwicklungsprozess zu definieren, die *Anforderungen* zu dokumentieren und dann mit dem *Systementwurf* und der *Systemvalidierung* fortzufahren, während dabei zugleich das gesamte Problem im Blick behalten wird [...]. Durch SE werden alle Fachdisziplinen in einem Teamansatz zusammengefasst, in dem ein *strukturierter Entwicklungsprozess* vom Konzept über die Herstellung bis zur Verwendung des Systems beschrieben wird. Systems Engineering betrachtet sowohl die *wirtschaftlichen* als auch die *technischen Bedarfe* aller Kunden, mit dem Ziel, ein qualitativ hochwertiges Produkt zu schaffen, das den Bedarfen des Kunden gerecht wird.

¹ Übersetzung nach Huth und Vietor (2020).

Haberfellner, Weck, Fricke und Vössner (2019) beschreiben SE darüber hinaus, wie in Abbildung 2.13 dargestellt, als integrativen Problemlösungsprozess (vgl. Abschnitt 2.1.2, z.B. SPALTEN-Problemlösemethodik nach Albers et al. (2005)), der zwei grundlegenden Leitprinzipien folgt: *Systemdenken* und *prozessuales Vorgehen*.

Das Systemdenken greift die Systemtheorie als Werkzeug auf, um damit die Entwicklungsaufgabe zu strukturieren und die Zusammenhänge darzustellen (vgl. Abschnitt 2.1.1, u.a. erweitertes ZHO-Modell nach Albers, Ebel und Lohmeyer (2012)).

Durch das prozessuale Vorgehen werden vier Prinzipien beschrieben, um die Entwicklung und Implementierung einer Entwicklungsaufgabe in handhabbare (Teil-)Aufgaben zu gliedern. Hierzu gehören das Dekomponieren komplexer Probleme, das Variieren und Bewerten von Lösungsalternativen, das sukzessive und phasenorientierte Vorgehen (vgl. Abschnitt 2.1.3) und das Anwenden von elementaren und operativen Problemlösezyklen (vgl. Abschnitt 2.1.2). Haberfellner et al. (2019) charakterisieren den Problemlöseprozess darüber hinaus als integrative Betrachtung zwischen *Systemgestaltung* bzw. *Systementwicklung* und *Projektmanagement*. Dies beschreibt die Bearbeitung der Entwicklungsaufgabe unter Berücksichtigung von Ressourcen-, Kosten-, Zeit- und Qualitätsvorgaben (Gausemeier, Dumitrescu et al., 2013).

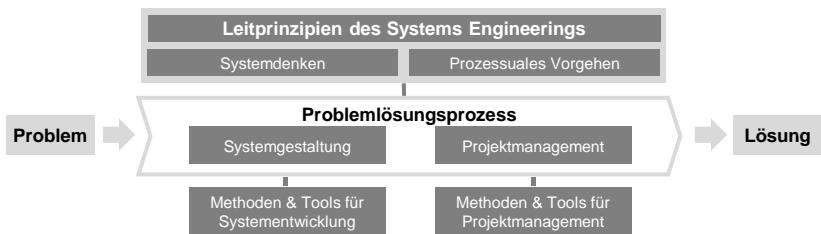


Abbildung 2.13: Systems Engineering als Problemlösungsprozess nach Haberfellner et al. (2019)

Durch die Verwendung eines zentralen, visualisierten Modells kann das SE zum *MBSE – Model-Based Systems Engineering* erweitert werden. Hierbei beschreibt MBSE die Anwendung der Prozesse und Methoden des Systems Engineering unter Verwendung von Modellierungsansätzen mit Hilfe grafischer, computergestützter Modellierungssprachen (bspw. UML, SysML etc.) (Gausemeier, Gaukstern & Tschirner, 2013; INCOSE, 2015; Mavin, Wilkinson, Harwood & Novak, 2009). Infolgedessen besteht ein MBSE-Ansatz immer aus einer

Modellierungssprache, einem Tool, einer Methode und einem Architekturframework (Delligatti, 2014; Mandel et al., 2023). Dies ermöglicht es, die relevanten Informationen innerhalb der Modelle in Beziehung zu setzen und dadurch Abhängigkeiten nachverfolgbar (*engl.*: traceable) zu machen (Weikens, 2007). Zudem lässt sich durch die umfangreiche Modellierung eine effiziente Wiederverwendung im Sinne der SGE realisieren (Wäschle et al., 2021). Aus diesen Gründen sprechen Albers und Lohmeyer (2012) dem MBSE großes Potenzial bei der Entwicklung komplexer Systeme zu.

2.3.2 Systementwicklung im SE

Systems Engineering umfasst den gesamten *Lebenszyklus* des Systems, welcher je nach Art, Zweck, Nutzung und Randbedingungen variieren kann (ISO 15288). Hierzu definiert SE sechs generische *Lebenszyklusphasen*: das *Konzept*, die *Entwicklung*, die *Produktion*, den *Betrieb*, die *Wartung* und die *Stilllegung*. Die einzelnen Phasen können sich dabei überschneiden und auch voneinander abhängig sein. Ziel ist es, durch die Lebenszyklusphasen einen Rahmen zu schaffen, um den Bedarfen der Stakeholder über den gesamten Lebenszyklus gerecht zu werden. Hierbei müssen insbesondere bereits in den früheren Phasen die Bedarfe der späteren Phasen berücksichtigt werden, um eine ressourcenoptimale Umsetzung zu ermöglichen (INCOSE, 2015).

Zur Unterstützung von SE werden in der ISO 15288 die sogenannten *Systemlebenszyklusprozesse* beschrieben, welche in allen Lebenszyklusphasen Anwendung finden. Die Systemlebenszyklusprozesse umfassen, wie in Abbildung 2.14 dargestellt, *technische Prozesse*, *technische Management-Prozesse*, *Vertragsprozesse* sowie *organisatorische Unterstützungsprozesse* und ermöglichen dadurch die integrative Betrachtung von Systementwicklung und Projektmanagement (Haberfellner et al., 2019).

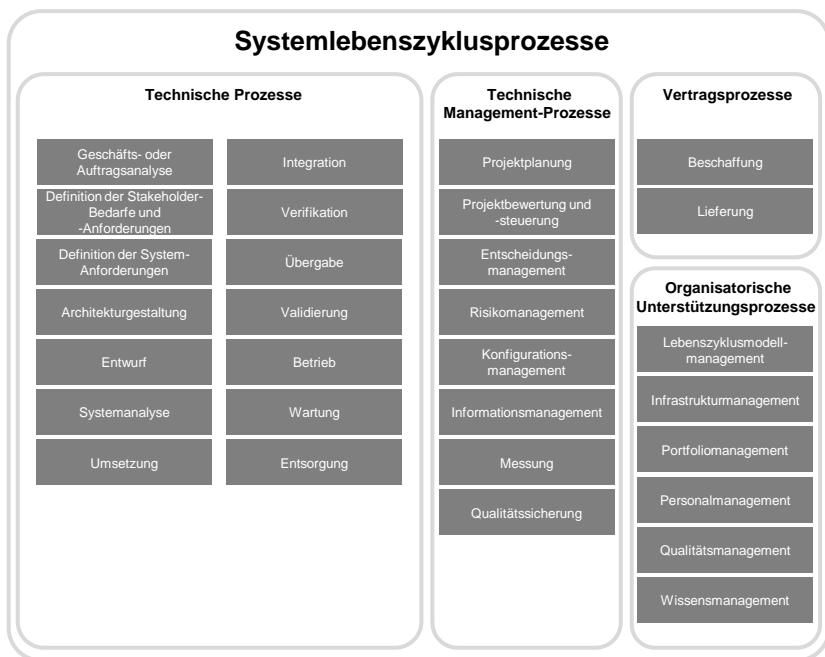


Abbildung 2.14: Systemlebenszyklusprozess nach ISO 15288

Die Systementwicklung wird im Rahmen der SE-Standardliteratur in den technischen Prozessen beschrieben. Ausgehend von der strategischen Produktpositionierung und den festgelegten Systemgrenzen (vgl. *Geschäfts- oder Auftragsanalyse* und Abschnitt 2.2.1, *Produktpprofil*) werden die Bedarfe der Stakeholder erhoben und in formale und konkretisierte Stakeholder-Anforderungen überführt (vgl. *Definition der Stakeholder-Bedarfe und -Anforderungen* und Abschnitt 2.4, *Zielssystembildung*). Darauf aufbauend werden technische System-Anforderungen spezifiziert, welche als Basis für die Architekturgestaltung dienen (vgl. *Definition der System-Anforderungen* und Abschnitt 2.4, *Zielssystembildung*). Im Rahmen dieser werden alternative technische Lösungen beschrieben und bewertet, sodass schließlich eine Lösung ausgewählt (vgl. *Architekturgestaltung* und Abschnitt 2.4.1, *Systemkonzept*) und weiter ausgearbeitet werden kann (vgl. *Entwurf*). Anknüpfend an die Umsetzung der Systemelemente (i.S.v. Produktion bei physischen Elementen) werden diese zu einem System integriert (vgl. *Integration*) und gegenüber den spezifizierten System-Anforderungen verifiziert (vgl. *Verifikation*) bzw. gegenüber den Stakeholder-Anforderungen und -Bedarfen

validiert (vgl. *Validierung*). Eine umfassende Dokumentation der technischen Prozesse inkl. der jeweiligen Eingaben, Aktivitäten und Ergebnisse ist im Systems Engineering Handbook (Kapitel 4) zu finden (INCOSE, 2015).

Die Systemlebenszyklusprozesse können fraktal angewendet werden. Hierzu wird das Gesamtsystem über mehrere *Systemebenen* mittels einer *logischen Systemarchitektur* strukturiert (Bajzek et al., 2021). Diese basiert auf dem hierarchischen Konzept der Systemtheorie (vgl. Abschnitt 2.1.1), demzufolge ein System (z.B. Fahrzeugsystem) in Subsysteme (z.B. Fahrsystem, Energiesystem) untergliedert werden kann, bis der notwendige Detailgrad für eine technische Lösung gegeben ist (INCOSE, 2015). Infolgedessen ist die Anzahl der Systemebenen projektspezifisch und abhängig von der Entwicklungsaufgabe. Die jeweilige Systemebene lässt sich dabei gemäß Albers, Hirschter et al. (2020) mathematisch beschreiben (vgl. Formel 6).

$$\text{Systemebenen: Ebene } E = \{i \mid i \in \mathbb{N}_0\}$$

6

Hierbei beschreibt die Systemebene 0 das System of Systems (z.B. Mobilitätssystem), mit den weiteren Systemebenen steigt der Detailgrad entsprechend an. Abbildung 2.15 zeigt den Ausschnitt einer exemplarischen logischen Systemarchitektur eines Fahrzeugsystems in Anlehnung an Fahl (2022).

Unter Anwendung der technischen Prozesse werden die (Sub-)Systeme der logischen Systemarchitektur über den Produktentstehungsprozess kontinuierlich und iterativ spezifiziert. Aufgrund der Tatsache, dass kein Produktentstehungsprozess identisch ist, müssen die technischen Prozesse (und auch die weiteren Systemlebenszyklusprozesse) hierbei in ihrer Anwendung an den Kontext des Unternehmens sowie des spezifischen Projekts angepasst werden (Hwang & Park, 2006; ISO 15288).

Diese Adaption wird als *Tailoring* bezeichnet und verfolgt das Ziel, den optimalen Umfang der Anwendung von SE zu realisieren und damit einhergehende Effizienzpotenziale auszuschöpfen (Küsel, 2020). Diese Effizienzpotenziale begründen sich aus dem angestrebten Optimum zwischen Entwicklungskosten (welche mit dem Umfang an SE ansteigen) und Betriebskosten (welche mit dem Umfang an SE abnehmen) des Systems. Der Anspruch des Tailorings besteht dementsprechend darin, die Produktlebenszykluskosten zu minimieren. Zur Unterstützung eines bewussten Tailorings existieren in der Literatur verschiedene

Ansätze (Graviss, Sarkani & Mazzuchi, 2016; Hollauer, Langner & Lindemann, 2018; INCOSE, 2015; Küsel, 2020; Ward, Pichika & Sullivan, 2018).

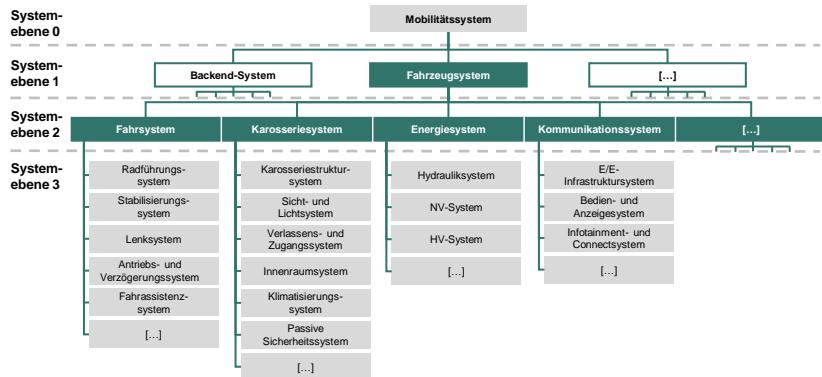


Abbildung 2.15: Exemplarische logische Systemarchitektur eines Fahrzeugsystems (Ausschnitt) in Anlehnung an Fahl (2022)

2.3.3 ASE – Advanced Systems Engineering

Systems Engineering hat seinen Ursprung in der Luft- und Raumfahrt, findet mittlerweile jedoch in vielen weiteren Branchen Anwendung (Gausemeier, Dumitrescu et al., 2013). Insbesondere in der Automobilindustrie wird dem SE aufgrund von zunehmenden Bedarfen, bspw. durch die verstärkte Relevanz von Wachstumsmärkten und den damit verbundenen Kundensegmenten sowie der Elektrifizierung und Digitalisierung des Fahrzeugs ein großes Potenzial zugesprochen (Kuhnert et al., 2017; Winkelhake, 2021).

Die im SE beschriebenen Prozesse und Methoden sind dabei so abstrakt formuliert, dass sie auf verschiedene Anwendungsbereiche übertragen werden können, gleichzeitig gibt es für die konkrete Anwendung im automobilen Umfeld jedoch wenig Handlungsvorgaben (Bender & Gericke, 2021). Dies führt, in Kombination mit einem hohen Einführungsaufwand, zu einer geringen individuellen und organisatorischen Akzeptanz, wodurch die Einführung von SE behindert wird (Albers, Lohmeyer & Radimersky, 2012; Gausemeier, Dumitrescu et al., 2013). Hieraus ergibt sich die Notwendigkeit, das SE zum ASE – Advanced Systems Engineering zu erweitern (Dumitrescu et al., 2021).

ASE dient als Leitbild für die Entwicklung von Produkten mit hohem Innovationspotenzial und wird durch die drei, in Abbildung 2.16 dargestellten,

Handlungsfelder definiert: Advanced Systems (AS), Systems Engineering (SE) und Advanced Engineering (AE).

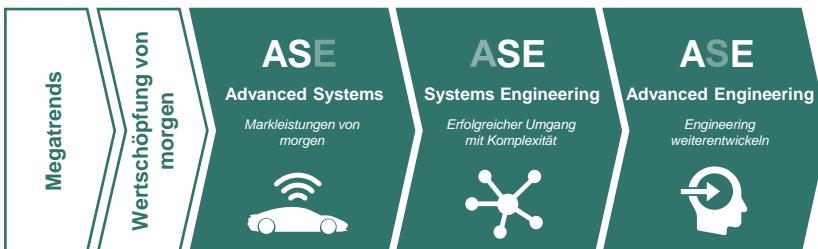


Abbildung 2.16: Handlungsfelder des Advanced Systems Engineerings in Anlehnung an Dumitrescu et al. (2021)

Advanced Systems beschreiben die Marktleistungen (Produkte und Dienstleistungen) der Zukunft und zeichnen sich durch charakteristische Merkmale wie ein hohes Maß an Autonomie, die Nutzung von künstlicher Intelligenz (KI), eine zunehmende Vernetzung sowie eine intelligente Interaktion mit dem Nutzer aus. Die Entwicklung dieser Advanced Systems geht bedingt durch den Einsatz neuer Technologien, die Betrachtung der Produkte im Mobilitätsökosystem, kürzere Produktlebenszyklen und einen steigenden Preisdruck mit einer erhöhten Komplexität einher (Dumitrescu et al., 2021). Gleichzeitig können jedoch durch eine verstärkte Berücksichtigung der Bedarfssituation neue Wachstumsmärkte erschlossen und Differenzierungsmerkmale gegenüber dem Wettbewerb etabliert werden (Broy, Böhm & Rumpe, 2020; Dumitrescu et al., 2021).

Für einen erfolgreichen Umgang mit dieser Komplexität müssen Prozesse und Methoden des *Systems Engineerings* in den Unternehmen eingeführt und eingesetzt werden (vgl. Abschnitt 2.3.1). Besonderes Potenzial wird hierbei insbesondere in einer formalisierten Modellierung durch die Einführung von MBSE gesehen (Albers & Lohmeyer, 2012; Dumitrescu et al., 2021).

Das Handlungsfeld *Advanced Engineering* beschreibt die Weiterentwicklung etablierter Vorgehensweisen durch die verstärkte Implementierung von digitalen Technologien (z.B. KI, Digitaler Zwilling, Produktlebenszyklusmanagement) und von innovativen Methoden des Engineering wie bspw. der Systemgenerationsentwicklung (vgl. Abschnitt 2.2) sowie agilen Entwicklungsansätzen. Letztere ermöglichen eine situationsgerechte Anpassung des Entwicklungsvorgehens auf Basis neuer Erkenntnisse (z.B. bedingt durch Dynamiken des Marktes) und können durch etablierte Ansätze wie bspw. das

ASD – Agile Systems Design realisiert werden (Albers, Heimicke, Hirschter et al., 2018).

Im Rahmen aller Handlungsfelder des ASEs ist es gemäß Albers (2011) essenziell den Mensch in den Mittelpunkt des sozio-technischen Systems zu rücken. Hierbei müssen zum einen menschzentrierte Prozesse und Methoden für die Produktentwickelnden bereitgestellt werden (Albers, Dumitrescu et al., 2022). Zum anderen müssen die Bedarfe der Stakeholder über den gesamten Lebenszyklus erfüllt werden (Albers, Lohmeyer & Radimersky, 2012; Dumitrescu et al., 2021). Insbesondere im Rahmen der Zielsystembildung muss dies nachvollziehbar berücksichtigt werden (Ebel, 2015). Die damit verbundenen Grundlagen werden im folgenden Abschnitt eingeführt.

2.4 Zielsystembildung: Bedarfe, Ziele und Anforderungen

Das *Zielsystem* (ZS) beinhaltet alle notwendigen Ziele sowie deren Wechselwirkungen, Randbedingungen und Begründungen und ist damit die Basis für die erfolgreiche Entwicklung des richtigen Produkts (Albers, 2010). Hierbei ist es notwendig verschiedene Elementtypen wie Ziele und Anforderungen zu unterscheiden und das Zusammenspiel der zugehörigen Elemente zu beschreiben (Ebel, 2015). Gleichzeitig können bei dem Spezifizieren dieser Elemente im Rahmen einer neuen Systemgeneration Referenzen (z.B. Ziele und Anforderungen der Vorgängergeneration) herangezogen werden, um dadurch Effizienzen zu heben (Albers, Rapp et al., 2020). Dieser Wiederverwendung von Zielen und Anforderungen wird eine hohe Hebelwirkung zugesprochen, da diese durch ihre Berücksichtigung in einer technischen Realisierung münden (Khadilkaar & Stauffer, 1996; Lam, 1998; Sommerville & Ransom, 2005).

2.4.1 Systemisches Verständnis von Bedarfen, Zielen und Anforderungen

Ziele und Anforderungen sind wesentliche *Elementtypen* des Zielsystems und bestimmen durch ihre projektspezifischen Ausprägungen (Elemente) maßgeblich die Ausrichtung des zu entwickelnden Produktes. Hierbei beschreiben Ziele den Soll-Zustand des Systems in einer oft abstrakten Art und Weise (Eiletz, 1999; Ponn & Lindemann, 2011, S. 35). Infolgedessen sind sie technisch unkonkret und können daher nicht ohne Weiteres in einer technischen Lösung umgesetzt werden. Hierfür müssen die Ziele durch Anforderungen technisch konkretisiert werden (Bender &

Gericke, 2021, S. 197). Nach Ponn und Lindemann (2011) beschreiben Anforderungen die Soll-Eigenschaftsausprägungen eines Systems.

Dabei müssen *Qualitätskriterien* erfüllt werden, um nicht notwendige Iterationen zu vermeiden. Demzufolge müssen Anforderungen nach Bender und Gericke (2021) eindeutig, gültig, korrekt, priorisiert, realisierbar, vereinbart, verifizierbar, verständlich, vollständig und rückverfolgbar sein. Die Gesamtheit der Anforderungen muss infolgedessen alle produktbezogenen Ziele erfüllen, gleichzeitig jedoch auch andere Zielarten wie z.B. Finanz- oder Projektmanagementziele beachten (Bader, 2007). Die im Systems Engineering etablierten Begriffe der Stakeholder- und System-Anforderungen weisen die Charakteristika von Zielen bzw. Anforderungen auf (Kubin, Wagenmann, Reichert, Mandel & Albers, 2023). Zur besseren Verständlichkeit wird daher im Folgenden ausschließlich von Zielen und Anforderungen gesprochen.

Darüber hinaus wird in der Literatur der Begriff der Randbedingungen genutzt, aus denen sich sowohl Ziele als auch Anforderungen ableiten können (Albers, Klingler & Ebel, 2013; Bader, 2007). Randbedingungen können oftmals nicht vom Entwicklungsteam definiert werden, sondern werden durch das Umfeld vorgegeben (Lohmeyer, 2013). Muschik (2011) unterscheidet hierbei zwischen exogenen Randbedingungen, die ihren Ursprung außerhalb der Unternehmensgrenzen haben (z.B. Gesetze, Normen), und endogenen Randbedingungen, die sich innerhalb des Unternehmens ergeben (z.B. Selbstverpflichtungen). Randbedingungen sind dementsprechend nicht bzw. nur schwer veränderbar und schränken daher das zu entwickelnde System ein.

Das resultierende Verständnis von Zielen, Anforderungen und Randbedingungen ist in Abbildung 2.17 dargestellt.

Für die Operationalisierung des Zielsystems ist dabei die *Rückverfolgbarkeit* (engl.: traceability) der Anforderungen essenziell (Bender & Gericke, 2021; Crowder, Carbone & Demijohn, 2016). Hierdurch kann nachvollzogen werden, welche Begründung in Form eines Ziels oder einer Randbedingung einer spezifischen Anforderung zugrunde liegt.

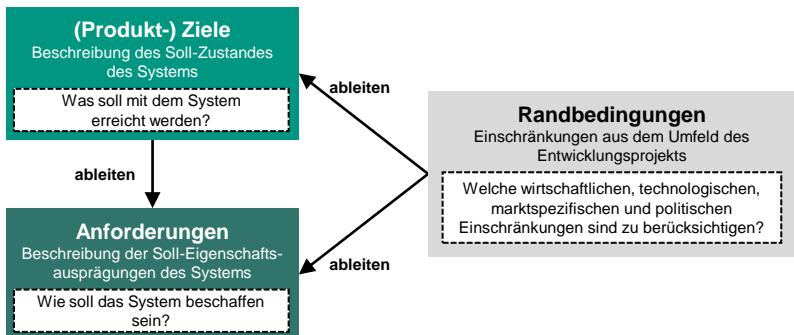


Abbildung 2.17: Verständnis von Zielen, Anforderungen und Randbedingungen nach Ebel (2015)

Ziele können sich nicht nur aus Randbedingungen ableiten, sondern auch durch *Stakeholder-Bedarfe* begründet werden. Der Bedarfsbegriff wird insbesondere durch das Systems Engineering und die damit verbundenen technischen Prozesse (vgl. Abschnitt 2.3.2) geprägt, gleichzeitig existieren allerdings nur wenige Definitionen des Begriffes (Ryan, Wheatcraft, Dick & Zinni, 2015; Salado, 2021). Das Systems Engineering Handbook beschreibt Bedarfe als „häufig fehlende Fähigkeiten oder Eigenschaften [eines Systems], für die ein oder mehrere Stakeholder eine Notwendigkeit sehen.“ (INCOSE, 2015). Wasson (2015) greift dieses Verständnis auf und beschreibt, dass Bedarfe die Perspektive der Stakeholder repräsentieren, typischerweise (technisch) unkonkret sind und aus Projektsicht als unverbindlich angesehen werden.

Infolgedessen müssen die Stakeholder-Bedarfe (z.B. „Fahrt mit einem Elektroauto von Stuttgart nach Leipzig ohne Ladestopp“) in konkretisierte und verbindliche Ziele (z.B. „Kundennahe elektrische Reichweite von über 400 km“) und Anforderungen (z.B. „elektrische Reichweite im WLTP-Fahrzyklus¹ von 430 km bei vollgeladener Batterie“) überführt werden. Standards wie die ISO/IEC/IEEE 29148 und die ISO/IEC/IEEE 15288 beschreiben diese Transformation von Bedarfen in Ziele und Anforderungen, sind aber in der Abgrenzung von „Bedarfen“, „Bedürfnissen“, „Zielen“, „Wünschen“, „Erwartungen“ und „Randbedingungen“ nicht eindeutig (Ryan

¹ Der WLTP-Zyklus (Worldwide Harmonized Light Vehicles Test Procedure) beschreibt ein definiertes Geschwindigkeitsprofil über einen Zeitraum von 30 Minuten.

et al., 2015; ISO 15288; ISO 29148). Infolgedessen gibt es zwar Ansätze um Bedarfe als solche zu charakterisieren, allerdings keine übergreifende formale Definition (Salado, 2021).

Für ein umfassendes Verständnis des Zielsystems können die Zielsystemelemente anhand der vier, in Abbildung 2.18 dargestellten, Dimensionen beurteilt werden (Albers et al., 2013; Ebel, 2015).

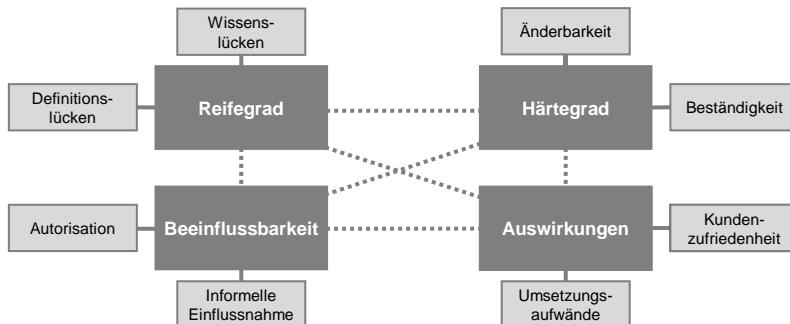


Abbildung 2.18: Beurteilungsdimensionen von Zielsystemelementen nach Albers et al. (2013) und Ebel (2015)

Der *Reifegrad* beschreibt die Vollständigkeit, mit der das Verständnis eines Zielsystemelements hinsichtlich bestehender Wissens- und Definitions- lücken gegeben ist. Infolgedessen ist der Reifegrad als Grad der Konkretisierung zu verstehen. Der *Härtegrad* definiert im Sinne der Verbindlichkeit die Änderbarkeit und Beständigkeit eines Zielsystemelements und spiegelt damit den Willen der am Projekt beteiligten Akteure wider, an dem Element festzuhalten. Unter den *Auswirkungen* werden die Implikationen auf die Erfüllung der Stakeholder-Bedarfe und die damit einhergehende Kunden-, Anwender- und Anbieterzufriedenheit sowie auf die Umsetzungsaufwände verstanden. Die *Beeinflussbarkeit* beschreibt die Möglichkeit der Einflussnahme auf ein Zielsystemelement durch einzelne Akteure oder Organisationseinheiten.

Durch einen paarweisen Vergleich der vier Beurteilungsdimensionen leitet Ebel (2015) sechs Matrizen ab, aus denen konkrete Handlungsempfehlungen in der fortlaufenden Zielsystembildung erschlossen werden können. So stellt beispielsweise die *Entscheidungsmatrix* Reife- und Härtegrad in den jeweiligen Ausprägungen gegenüber und unterstützt dadurch bei der Steigerung der Verbindlichkeit und der Konkretisierung.

Hierbei werden, wie in Abbildung 2.19 dargestellt, zwei mögliche Wege aufgezeigt. Dem ersten Ansatz folgend wird zunächst der Härtegrad der Zielsystemelemente erhöht und anschließend durch eine Konkretisierung der Reifegrad gesteigert. Dieser Weg führt zu einem erhöhten Entwicklungsrisiko, da die Verbindlichkeit mit einem hohen Maß an Unsicherheit erzeugt wird. Der zweite Weg beschreibt eine Steigerung des Verständnisses und eine damit verbundene Zunahme des Reifegrads, bevor anschließend durch eine Priorisierung der Härtegrad erhöht wird. Diese konservativeren Vorgehensweise kann sich negativ auf Entwicklungszeit und -ressourcen auswirken, da die anfangs nur weiche Zieldefinition in zahlreichen Iterationen resultieren kann.

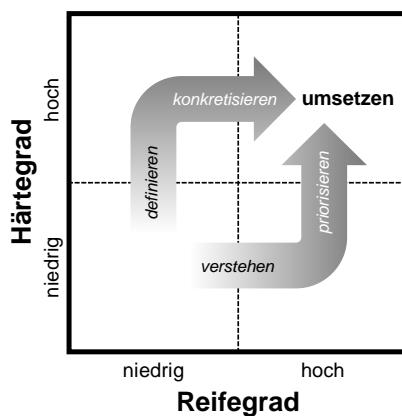


Abbildung 2.19: Entscheidungsmatrix nach Ebel (2015)

Die auf Basis der Bedarfe spezifizierten Ziele und Anforderungen sind die Grundlage der Systemarchitektur. Diese beschreibt, welche Subsysteme in eine bestimmte technische Lösung involviert sind und wie diese miteinander wechselwirken, um die Ziele und Anforderungen zu erfüllen. Die Architektur kann dabei anhand von Architekturframeworks wie bspw. dem RFLP-Ansatz modelliert werden (Kleiner & Kramer, 2012). Dieser beschreibt, das ausgehend von den Anforderungen (engl.: requirements) (R) die Analyse der Funktionen (F) sowie der logischen Systemarchitektur (vgl. Abschnitt 2.3.2) (L) und der physischen Realisierung (P) erfolgt. Die im Zuge dessen erzeugten Objekte (z.B. Skizzen, MBSE-Modelle, MATLAB-Modelle) können anschließend validiert werden. Sowohl die Systemarchitektur als auch die Ziele und Anforderungen beruhen gemäß dem Modell der SGE auf RSE, welche durch die Aktivitäten der Übernahme-, Ausprägungs- und Prinzipvariation in die aktuelle Systemgeneration überführt werden.

Albers et al. (2023) führen diese Überlegungen im *Systemkonzept* zusammen, welches wie folgt definiert wird (vgl. Definition 5):

Definition 5: Systemkonzept nach Albers, Hünemeyer, Kubin et al. (2023)

Ein **Systemkonzept** im Modell der SGE – Systemgenerationsentwicklung ist ein *Konzept eines technischen Systems*, das die aus dem Produktprofil abgeleiteten Ziele und *Anforderungen an ein System* sowie die *Systemarchitektur* und die zugehörigen *Referenzsystemelemente* und *Variationsanteile* unter *Berücksichtigung der Randbedingungen* definiert und der *Validierung* zugänglich macht.

2.4.2 Zusammenspiel von Bedarfen, Zielen und Anforderungen

In der Literatur existieren verschiedene Ansätze, die auf das Zusammenspiel von Bedarfen, Zielen und Anforderungen eingehen. Systems Engineering beschreibt hierzu die technischen Prozesse *Definition der Stakeholder-Bedarfe und -Anforderungen* und *Definition der System-Anforderungen* (vgl. Abschnitt 2.3.2), welche als Handlungsrahmen herangezogen werden können (ISO 15288). Im Rahmen dieser beiden technischen Prozesse wird dabei wie folgt vorgegangen:

- **Definition der Stakeholder-Bedarfe und -Anforderungen:** Ausgangspunkt sind die Stakeholder-Bedarfe, welche über verschiedene Ansätze wie z.B. die Persona-Methode, Customer Journeys, Use Cases, Szenariotechniken, Trendanalysen und Datenanalysen erhoben werden können (Følstad & Kvale, 2018; Gilson & Irwin, 2018; Hirschter et al., 2018; Hünemeyer, Reichelt, Rapp, Albers & Maier, 2022; Hünemeyer, Bauer, Wagenmann, Kubin & Albers, 2023). Die Bedarfe werden im nächsten Schritt priorisiert und, unter Berücksichtigung von Randbedingungen und der Interaktion mit dem Umfeld sowie den Anwendern, in Form von Zielen (i.S.v. Stakeholder-Anforderungen) spezifiziert. Im Rahmen der Analyse der Ziele wird anschließend die Erfüllung der vorab definierten Qualitätskriterien (vgl. Abschnitt 2.4.1) geprüft und es werden Validierungskriterien festgelegt. Nicht umsetzbare Ziele werden mit dem Einverständnis der Stakeholder angepasst oder abgelehnt (INCOSE, 2015).
- **Definition der System-Anforderungen:** Die Anforderungen (i.S.v. System-Anforderungen) werden basierend auf den Zielen spezifiziert und spiegeln die technische Interpretation dieser aus Sicht des Anbieters wider. Hierzu werden in der Vorbereitung Schnittstellen zu anderen Systemen, Betriebsszenarien und das zu erwartende Systemverhalten bestimmt. Darauf aufbauend können die Anforderungen unter Berücksichtigung der

Randbedingungen sowie weiteren, vorab als kritischen identifizierten Auslegungsgrößen (z.B. Sicherheit, Zuverlässigkeit, Wartbarkeit), spezifiziert werden. Abschließend wird die Erfüllung der Qualitätskriterien geprüft und es werden Verifikationskriterien festgelegt (INCOSE, 2015).

Hierbei ist es essenziell, die Rückverfolgbarkeit von den Anforderungen über die Ziele bis zu den Bedarfen zu gewährleisten und dazugehörige Entscheidungen transparent zu dokumentieren. So wird zum einen die Nachvollziehbarkeit für Stakeholder und Produktentwickelnde gewährleistet, zum anderen können im Rahmen des Änderungsmanagements über den gesamten Lebenszyklus Abhängigkeiten transparent berücksichtigt werden (INCOSE, 2015).

Zusätzlich zur verstärkten Einführung von SE in der Automobilindustrie gewinnt die Berücksichtigung von *Automotive Software Process Improvement and Capability dEtermination* (ASPICE) zunehmend an Relevanz (Dumitrescu et al., 2021) (Heimicke, Spadiner, Li & Albers, 2020). ASPICE ist ein Prozessbewertungsframework und umfasst definierte Referenzprozesse sowie ein Reifegradmodell zur Bewertung der Leistungsfähigkeit von Entwicklungsprozessen anhand von Leveln zwischen 0 und 5 (VDA A-SPICE, 2017). Vorteile von ASPICE-konformen Vorgehensweisen sind eine verbesserte Planbarkeit von benötigen Ressourcen sowie die Möglichkeit zur Durchführung von einheitlichen Prozessreviews, mit Hilfe derer Verbesserungsmaßnahmen abgeleitet werden können. Das Zusammenspiel von Bedarfen, Zielen und Anforderungen nach ASPICE wird im Rahmen der beiden Prozesse *Anforderungserhebung (SYS1)* und *Systemanforderungsanalyse (SYS2)* detailliert, welche im Folgenden beschrieben werden:

- **Anforderungserhebung (SYS1):** Ausgehend von den Zielen (i.S.v. Stakeholder-Anforderungen), welche anhand der Bedarfe spezifiziert werden, wird ein gemeinsames Verständnis zwischen den Stakeholdern und den Produktentwickelnden etabliert. Darauf aufbauend wird ein Übereinkommen bezüglich der Ziele realisiert, sodass diese in Form einer *Baseline* formalisiert zusammengestellt werden können. Diese Baseline ist die Basis für ein Änderungsmanagement der Ziele, welches über den gesamten Lebenszyklus umgesetzt wird, um bspw. Änderungen in den Bedarfen berücksichtigen zu können (VDA A-SPICE, 2017).
- **Systemanforderungsanalyse (SYS2):** Die Ziele werden genutzt, um Anforderungen (i.S.v. System-Anforderungen) zu spezifizieren und anhand einer definierten Struktur zu dokumentieren. Anschließend werden die Anforderungen hinsichtlich der Erfüllung von festgelegten Qualitätskriterien (vgl. Abschnitt 2.4.1) analysiert, die Auswirkung auf die Betriebsumgebung bewertet und Verifikationskriterien entwickelt. Abschließend wird die Traceability, d.h. die Rückverfolgbarkeit der

Anforderungen zu den Zielen sichergestellt, sodass die Konsistenz über den Lebenszyklus gewährleistet werden kann (VDA A-SPICE, 2017).

Zusätzlich zu SE und ASPICE existieren weitere Ansätze in der Literatur, welche auf das Spezifizieren von Zielen bzw. Anforderungen eingehen, dabei jedoch die Bedarfe nicht explizit fokussieren. Ein Beispiel ist das *Quality Function Deployment* (QFD) nach Akao (1992), welches die Dimensionen der Markt- und Produkt-Sicht vereint. In der Markt-Sicht werden Kunden-Anforderungen erfasst, gewichtet und mit dem Wettbewerb abgeglichen. Die Produkt-Sicht fokussiert die zur Erfüllung der Anforderungen erforderlichen Produktmerkmale (i.S.v. technischen Lösungen) sowie einen damit verbundenen technischen Wettbewerbsvergleich. Die beiden Dimensionen werden im *House of Quality* in Beziehung gesetzt, wobei insbesondere in Form einer Korrelationsmatrix die Kunden-Anforderungen den Produktmerkmalen gegenübergestellt werden (Hering, 2022). Weitere Beispiele für Ansätze zum Spezifizieren von Zielen bzw. Anforderungen werden durch das *Axiomatic Design* (AxD) nach Suh (1990) und den Lasten-Pflichtenheftprozess beschrieben (Rupp & SOPHISTen, 2020).

In der Literatur werden für die oben eingeführten Vorgehensweisen und Ansätze Limitationen hinsichtlich einer Einführung in die Produktentwicklungspraxis aufgezeigt. Eine wesentliche Einschränkung sind die häufig abstrakt beschriebenen Vorgehensweisen, die einen Transfer auf spezifische Branchen und Anwendungsfälle erschweren (Gausemeier, Dumitrescu et al., 2013). Gleichzeitig sind Ansätze wie bspw. das QFD aufgrund eines mit der Komplexität exponentiell steigenden Aufwands nur für einfache Systeme geeignet (Knorr & Friedrich, 2016, S. 42). Die fehlende Unterscheidung zwischen Bedarfen, Zielen und Anforderungen bei QFD, AxD und dem Lasten-Pflichtenheftprozess kann zudem in Fehlinterpretationen der Bedarfssituation resultieren (Rupp & SOPHISTen, 2020).

Eine weitere zentrale Einschränkung ist, dass bei allen beschriebenen Vorgehensweisen die Nutzung von Referenzen nicht explizit im Fokus steht. Durch die Nutzung von Referenzen lassen sich jedoch in der Zielsystembildung erhebliche Effizienzen heben (Albers, Rapp et al., 2020). So können Bedarfe, Ziele und Anforderungen durch die Aktivitäten der Übernahme-, Ausprägungs- und Prinzipvariation in die aktuelle Systemgeneration überführt werden und dadurch das Spezifizieren unterstützen (vgl. Abbildung 2.20). Aus diesem Grund wird im folgenden Abschnitt auf Ansätze zur Wiederverwendung von Zielsystemelementen eingegangen.

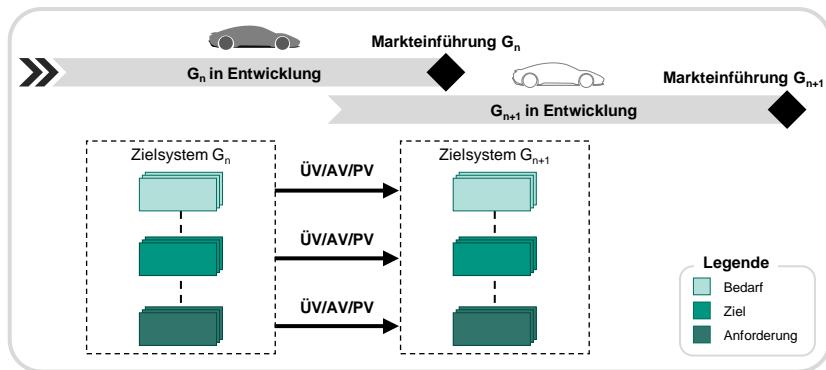


Abbildung 2.20: Nutzung von Referenzen in der Zielsystembildung in Anlehnung an Kubin et al. (2022)

2.4.3 Wiederverwendung von Zielsystemelementen

Durch Wiederverwendung im Rahmen der Produktentwicklung kann eine Effizienzsteigerung bewirkt werden, die sich auf verschiedene Vorteile zurückführen lässt wie z.B. die Reduktion von Kosten, Zeit und Risiko (Albers et al., 2015; Antelme, Moultrie & Probert, 2000; Shahin, Andrews & Sivaloganathan, 1999).

Insbesondere in der Automobilindustrie werden durch Gleichteil-, Plattform- und Baukastenstrategien synergetische Verknüpfungen zwischen Produkten realisiert (Gebhart, Kruse & Krause, 2016; Thiel & Hein, 2002). Die Wiederverwendung von Zielsystemelementen im Rahmen der Frühen Phase (vgl. Abschnitt 2.2.4) weist dabei eine besonders hohe Hebelwirkung auf, da jedes Ziel bzw. jede Anforderung in einer technischen Lösung mündet. Damit einhergehend können häufig weitere verknüpfte Entwicklungsartefakte (z.B. MBSE-Modelle, CAD-Modelle, Testfälle) ebenfalls wiederverwendet werden (Barber & Graser, 1999; Goldin & Berry, 2015). Gleichzeitig kann durch die Wiederverwendung von Zielen und Anforderungen sichergestellt werden, dass diese die festgelegten Qualitätskriterien erfüllen können, d.h. insbesondere realisierbar und verifizierbar sind (Lam, McDermid & Vickers, 1997; Zhang, Nummenmaa, Guo, Ma & Wang, 2011).

Aus diesen Gründen wird insgesamt das Entwicklungsrisiko reduziert und zudem die Entwicklungsaufgabe vereinfacht (Irshad, Torkar, Petersen & Afzal, 2016; Orawski et al., 2013). Infolgedessen werden Ziele und Anforderungen in der

Literatur zunehmend als zentrale Elemente für eine erfolgreiche Wiederverwendung angesehen (Lam, 1998; Sommerville & Ransom, 2005).

Grundsätzlich wird bei der Wiederverwendung von Zielen und Anforderungen zwischen *Engineering for Reuse* (EFR) Ansätzen unterschieden, die die Wiederverwendung befähigen, und *Engineering with Reuse* (EWR) Ansätzen, die eine systematische Anwendung der Wiederverwendung ermöglichen (Irshad, Petersen & Pouling, 2018; Ya'u, Nordin & Salleh, 2016).

Bezogen auf die Wiederverwendung von Zielsystemelementen beschreiben EFR-Ansätze die Identifikation und Akkumulation von wiederverwendbaren Zielen und Anforderungen sowie deren Aufbereitung in Form von Katalogen und Datenbanken. Diese Bündelung erhöht nicht nur die Effizienz, sondern ermöglicht auch die kontinuierliche Verbesserung der Ziele und Anforderungen und die Verknüpfung mit weiteren Entwicklungsaufgaben (Bursac et al., 2021). EFR stellt damit eine essenzielle Grundlage für die systematische Wiederverwendung im Sinne des EWR dar.

EWR-Ansätze beschreiben die Überführung von wiederverwendbaren Zielen und Anforderungen in die Produktspezifikation (Sindre, Conradi & Karlsson, 1995). Sie beruhen dabei in der Regel auf einer Auswahl wiederzuverwendender Zielsystemelemente, einer Bewertung dieser hinsichtlich des neuen, projektspezifischen Anforderungskontextes sowie einer Herleitung von ggf. erforderlichen Anpassungen. In der Literatur wird darauf verwiesen, dass derartige EWR-Ansätze unzureichend repräsentiert sind und somit eine Forschungslücke darstellen (Irshad et al., 2016).

Ein zentraler EWR-Ansatz bei der Wiederverwendung von Zielen und Anforderungen ist das *Copy-and-Paste-Vorgehen*. Dies beschreibt das Kopieren der Ziele und Anforderungen aus Spezifikationen früherer Systemgenerationen oder aus zentralen Datenbanken und das Einfügen in die Spezifikation der aktuellen Systemgeneration (Wieggers & Beatty, 2013). Nach Palomares, Quer und Franch (2017) ist dieses Vorgehen mit einem Anteil von ungefähr 60% der am häufigsten in der Industrie angewendete Ansatz. Die Copy-and-Paste Wiederverwendung wird in der Literatur jedoch als risikoreich angesehen (Khalil, 2018). Es wird betont, dass die wiederzuverwendenden Ziele und Anforderungen eine gewisse Stabilität haben, der *Anforderungskontext* der neuen Systemgeneration jedoch projektspezifisch berücksichtigt werden muss (Lam et al., 1997). Unter dem Anforderungskontext wird die Begründung der Ziele und Anforderungen anhand der zugrundeliegenden Bedarfe verstanden sowie die Wechselwirkung mit dem bestehenden Systemkonzept (vgl. Abschnitt 2.4.1) im neuen Projekt (Grabowski, Kaiser & Bai,

2018; Y. Nishiura, M. Asano & T. Nakanishi, 2018). Eine unzureichende Berücksichtigung des Anforderungskontextes wird als wesentliche Fehlerquelle im Entwicklungsprozess angesehen und kann in kostenintensiver Nacharbeit resultieren (Fortune & Valerdi, 2012).

Weitere in der Literatur beschriebene EWR-Ansätze werden bspw. durch das *SIREN-Modell* nach Toval, Nicolás, Moros und García (2002) oder den *Ansatz zur Wiederverwendung von Standardanforderungen* nach Panis (2015) bereitgestellt. Diese Ansätze fokussieren sich dabei, wie auch das Copy-and-Paste-Vorgehen, auf die Übernahme von projektübergreifend gültigen Anforderungen. Eine bewusste Anpassung von Anforderungen im Sinne einer Ausprägungs- oder Prinzipvariation (vgl. Abschnitt 2.2.2) steht nicht im Fokus.

In den zentralen Standards und Normen des SEs, wie insbesondere der ISO 15288, der ISO 12207, der ISO 26262 oder auch dem Systems Engineering Handbook, wird eine Wiederverwendung nicht explizit beschrieben (INCOSE, 2015; ISO 26262; ISO 15288; ISO 12207). Die Literatur bestätigt, dass Wiederverwendung im SE nicht ausreichend in Form von expliziten Systemlebenszyklusprozessen oder konkreter methodischer Unterstützung berücksichtigt wird (Fortune & Valerdi, 2012; Stallinger, Neumann, Vollmar & Plösch, 2011; Stallinger & Neumann, 2013). Stallinger und Neumann (2013) bauen darauf auf und schlagen eine Erweiterung der ISO 15288 um drei Teilprozesse vor, welche eine Wiederverwendung im SE generisch und zunächst ohne konkrete Handlungsvorgaben beschreiben: die *Domänenanalyse*, das *Management des Programms zur Systemwiederverwendung* und das *Management von Systemartefakten*. In der Domänenanalyse werden potenziell wiederverwendbare Entwicklungsartefakte identifiziert. Im Rahmen des Managements des Programms zur Systemwiederverwendung erfolgt die Planung, Platzierung, Steuerung und Ausführung der Wiederverwendung der zuvor identifizierten Artefakte. Das Management der Systemartefakte beschreibt die lebenszyklusorientierte Verwaltung von Artefakten hinsichtlich der erforderlichen Qualität und Verfügbarkeit zur Wiederverwendung.

2.5 Zwischenfazit und Forschungslücke

Fahrzeuge entwickeln sich zunehmend zu *Advanced Systems*. Infolgedessen werden Automobilhersteller mit einer steigenden Entwicklungskomplexität konfrontiert. Zum einen muss eine zunehmende Menge an *Bedarfen der Stakeholder* berücksichtigt werden, um Wachstumsmärkte zu erschließen, individuelle Kundengruppen zu bedienen und auf einen internationalen Wettbewerb zu reagieren. Zum anderen müssen einer verstärkten Elektrifizierung, Digitalisierung

und Berücksichtigung des Mobilitätsökosystems Rechnung getragen werden. Infolgedessen müssen die Bedarfe bereits in der *Frühen Phase* bei dem *Spezifizieren von Zielen und Anforderungen* nachvollziehbar berücksichtigt werden (vgl. Abschnitt 2.3.1), um durch das *sozio-technische System* ressourcenoptimal erfüllt werden zu können (vgl. Abschnitt 2.1.1). Hierfür wird, aufgrund der steigenden Komplexität, der Einsatz von *Systems Engineering* zunehmend forciert. Diese Transition wird jedoch durch fehlende *menschzentrierte Handlungsvorgaben* zur Operationalisierung der Prozesse und Methoden des *Systems Engineering* behindert (vgl. Abschnitt 2.3.3).

Auch weitere bestehende Ansätze zum Zusammenspiel von Bedarfen, Zielen und Anforderungen (z.B. ASPICE, QFD, AxD) weisen Limitationen auf, da sie teilweise ebenfalls lediglich einen groben Handlungsrahmen bereitstellen, mit einem exponentiell wachsenden Aufwand einhergehen oder nicht explizit zwischen Bedarfen, Zielen und Anforderungen unterscheiden (vgl. Abschnitt 2.4.2). Letzteres lässt sich insbesondere darauf zurückführen, dass keine übergreifende formale Definition für den Begriff der *Stakeholder-Bedarfe* existiert (vgl. Abschnitt 2.4.1).

Zudem stehen sowohl im *Systems Engineering* als auch bei weiteren Ansätzen zum Spezifizieren von Zielen und Anforderungen *Referenzen* nicht explizit im Fokus (vgl. Abschnitt 2.4.2). Wie im *Modell der SGE – Systemgenerationsentwicklung* (vgl. 2.2.2) beschrieben und im *Advanced Engineering* (vgl. 2.3.3) aufgegriffen ist ein referenzbasierter Entwicklungsansatz jedoch essenziell, um ein möglichst weitreichendes Innovationspotenzial (vgl. Abschnitt 2.2.1) bei einem minimalen Entwicklungsrisiko zu realisieren.

Die Wiederverwendung von Zielen und Anforderungen beruht in der Praxis stattdessen häufig auf einem *Copy-and-Paste-Vorgehen*, wodurch es passieren kann, dass der *Anforderungskontext* des neuen Projekts nicht ausreichend berücksichtigt wird (vgl. Abschnitt 2.4.3). Bestehende Wiederverwendungs-Ansätze bieten hier initiale Unterstützungslösungen, es fehlt allerdings an einem definierten Zusammenspiel dieser Vorgehensweisen mit den im *Systems Engineering* beschriebenen Prozessen und Methoden (vgl. Abschnitt 2.4.3).

Zur weiteren Konkretisierung und Strukturierung der Forschungslücke wurde eine empirische Studie bei einem *Original Equipment Manufacturer* (OEM) (i.S.v. Automobilhersteller) durchgeführt. Ziel war es, Herausforderungen bei dem *Systems-Engineering*-basierten Spezifizieren von Zielen und Anforderungen anhand von Bedarfen zu identifizieren. Hierzu wurden aufbauend auf einer sechsmonatigen teilnehmenden Beobachtung im Anforderungsmanagement eines OEMs sieben semistrukturierte Experteninterviews durchgeführt. Um eine möglichst

umfassende Sicht zu generieren, wurden Expert*innen aus Entwicklung, Strategie, Marketing und Projektleitung befragt, die im Rahmen ihrer Tätigkeit in das Spezifizieren von Zielen und Anforderungen anhand von Bedarfen involviert sind. Alle Befragten arbeiten seit mindestens vier Jahren bei dem OEM.

Die Aussagen aus den Experteninterviews konnten, basierend auf dem in der teilnehmenden Beobachtung aufgebauten Verständnis, in drei Herausforderungen zusammengefasst werden, welche im Folgenden erläutert werden. (Kubin et al., 2022)

Herausforderung 1: Systemgenerationsübergreifendes Bedarfs-, Ziel- und Anforderungsverständnis (vgl. Abbildung 2.21)

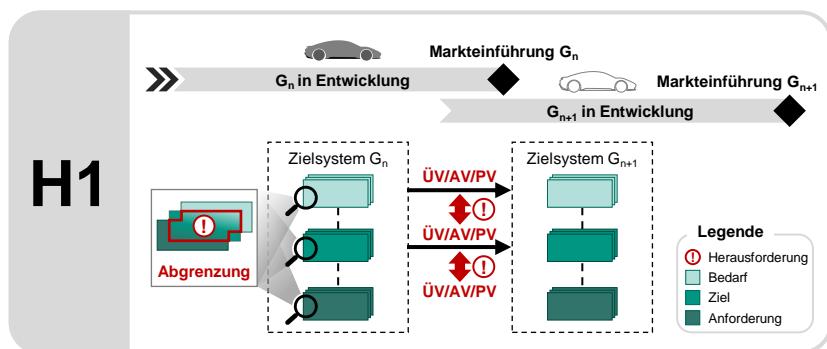


Abbildung 2.21: Herausforderungen bei dem systemgenerationsübergreifenden Bedarfs-, Ziel- und Anforderungsverständnis in Anlehnung an Kubin et al. (2022)

Die fehlende formale *Definition von Stakeholder-Bedarfen* resultiert in einer teilweise unklaren Unterscheidung und *Abgrenzung von Bedarfen, Zielen und Anforderungen*. Da die Erhebung der Bedarfe und das Spezifizieren von Zielen und Anforderungen in der Produktentwicklungspraxis jedoch häufig von verschiedenen Abteilungen verantwortet werden, kann die unklare Unterscheidung in einer erschwerten Abgrenzung der Aufgaben und Verantwortlichkeiten innerhalb des Unternehmens resultieren. Dies kann in zusätzlich erforderlichen Iterationen münden, da es zu einem erhöhten Kommunikations- und Abstimmungsaufwand kommt. Darüber hinaus ist die Variation von bestehenden Bedarfen, Zielen und Anforderungen im Rahmen der Entwicklung einer neuen Systemgeneration nicht ausreichend beschrieben, wodurch ein bewusster Transfer erschwert wird. Gleichzeitig kann durch klar definierte Variationsarten ein Verständnis für systemgenerationsübergreifende Zusammenhänge aufgebaut werden. Dies

ermöglicht es, den Einfluss von geänderten Bedarfen auf die Variation von Zielen und Anforderungen nachzuvollziehen. (Kubin et al., 2022)

Der Mehrwert eines solchen *systemgenerationsübergreifenden Verständnisses* liegt in einer systematischen Variation von Zielen und Anforderungen auf Basis von Bedarfen und einer damit einhergehenden Effizienzsteigerung. Anschaulich wird ein systemgenerationsübergreifendes Verständnis beispielsweise bei Bedarfen, die zwischen Systemgenerationen übernommen werden. Eine Übernahme des Bedarfs einer „wettbewerbsfähigen Reichweite“ kann aufgrund einer geänderten Wettbewerbssituation zu einer projektspezifischen Variation der daraus abgeleiteten Ziele und Anforderungen führen (bspw. konkrete Reichweite über einen Fahrzyklus). Hingegen werden bei dem Bedarf zur „Sicherstellung der Transportierbarkeit“ die resultierenden Ziele und Anforderungen (z.B. „Verzurrung des Fahrzeugs ermöglichen“) weitestgehend gleichbleiben. (Kubin et al., 2022)

Infolgedessen ergibt sich die Herausforderung eines systemgenerationsübergreifenden Bedarfs-, Ziel- und Anforderungsverständnisses, welche die oben beschriebenen Aspekte umfasst. (Kubin et al., 2022)

Herausforderung 2: Systems-Engineering-basiertes Zusammenspiel von Bedarfen, Zielen und Anforderungen (vgl. Abbildung 2.22)

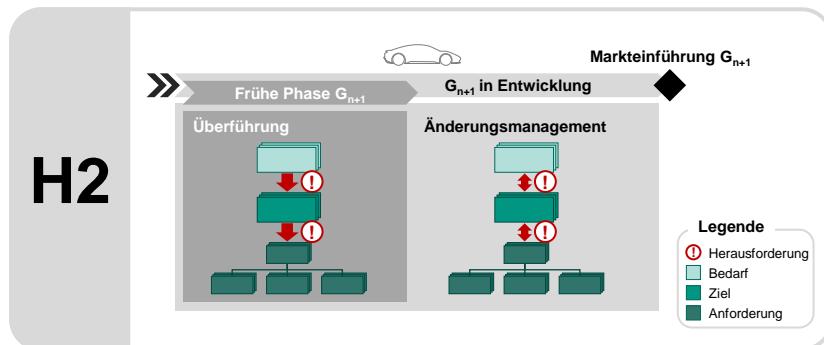


Abbildung 2.22: Herausforderungen bei dem Systems-Engineering-basierten Zusammenspiel von Bedarfen, Zielen und Anforderungen in Anlehnung an Kubin et al. (2022)

Die abstrakte Beschreibung der Prozesse und Methoden des Systems Engineering führt dazu, dass die *Überführung* von Bedarfen in Ziele und Anforderungen häufig nur implizit erfolgt. Infolgedessen ist der zugrundeliegende Kunden-, Anwender- oder Anbieternutzen eines Ziels bzw. einer Anforderung nicht immer

nachvollziehbar. Dies kann zum einen in einer Über- oder Untererfüllung eines Bedarfs resultieren und erschwert zum anderen die Priorisierung von Anforderungen bei der Auflösung von Zielkonflikten. Gleichzeitig kann ein solches implizites Vorgehen in zusätzlichen Iterationen resultieren, da die Entscheidungslage nicht immer für alle Projektbeteiligten transparent ersichtlich ist und aufgrund von unklaren Handlungsvorgaben teilweise wesentliche Schritte übersprungen werden. (Kubin et al., 2022)

Neben der Überführung von Bedarfen in Ziele und Anforderungen, welche ihren Schwerpunkt in der Frühen Phase hat, müssen die bidirekionalen Wechselwirkungen in Form eines *Änderungsmanagements* über den gesamten Produktentstehungsprozess (und darüber hinaus) abgebildet werden können. Hierbei muss zwischen Top-Down und Bottom-Up Änderungsbegehren unterschieden werden. Erstere beschreiben eine geänderte Bedarfssituation (z.B. bedingt durch Wettbewerbsänderungen, volatile Märkte etc.), die in neuen oder angepassten Zielen und Anforderungen resultiert. Letztere umfassen Änderungen von Anforderungen (bspw. bedingt durch Architekturverfehlungen) aufgrund derer ein Bedarf nicht mehr (volumfähiglich) erfüllt werden kann. Auch für die Berücksichtigung dieser bidirekionalen Wechselwirkungen fehlt es an konkreten Vorgehensweisen zur operativen Umsetzung. (Kubin et al., 2022)

Die fehlenden menschzentrierten Handlungsvorgaben zur Umsetzung der Überführung und des Änderungsmanagements werden durch die Herausforderung des Systems-Engineering-basierten *Zusammenspiels* von Bedarfen, Zielen und Anforderungen zusammengefasst. (Kubin et al., 2022)

Herausforderung 3: Systems-Engineering-basierte Wiederverwendung von Zielen und Anforderungen auf Basis von Bedarfen (vgl. Abbildung 2.23)

Die Entwicklung der Systemgeneration eines Automobilherstellers basiert häufig zu einem Großteil auf Zielen und Anforderungen, die aus Vorgängergenerationen oder Anforderungsdatenbanken übernommen werden. Gleichteil-, Plattform- und Baukastenstrategien fachen dies noch weiter an, sodass auch bei der ersten Systemgeneration G_1 einer neuen Produktlinie bereits zahlreiche projektübergreifend gültige Inhalte übernommen werden können. Infolgedessen ist die *Wiederverwendung* von Zielen und Anforderungen ein Sonderfall des in Herausforderung 2 beschriebenen Zusammenspiels, der essenziell zur Realisierung von effizienten Entwicklungsprozessen ist. Anforderungen, die übernommen werden sollen, betreffen dabei häufig Subsysteme auf tieferen logischen Systemebenen.

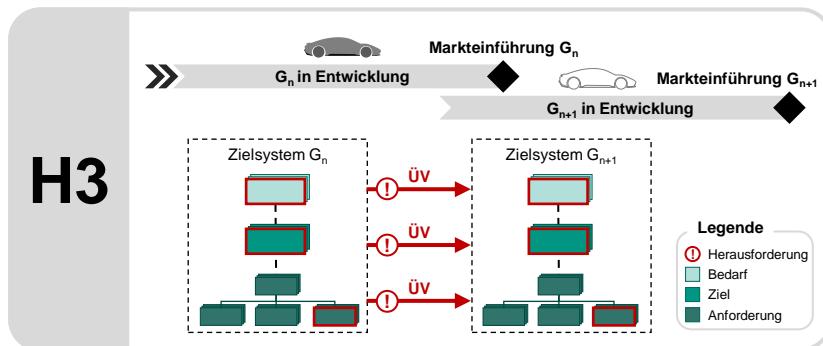


Abbildung 2.23: Herausforderungen bei der Systems-Engineering-basierten Wiederverwendung von Zielen und Anforderungen auf Basis von Bedarfen in Anlehnung an Kubin et al. (2022)

Infolgedessen müssen diese bestehenden Anforderungen bei dem Spezifizieren des Subsystems berücksichtigt und daraus hervorgehende Zielkonflikte mit dem Systemkonzept des übergeordneten Systems aufgelöst werden. Zudem sind bei der Wiederverwendung zwingend die Bedarfe und Ziele der neuen Systemgeneration zu beachten, um die richtigen Anforderungen unter Berücksichtigung der Differenzierungsmerkmale des Fahrzeugs gezielt wiederverwenden zu können. Ein Beispiel hierfür ist die Anforderung zur „ausreichenden elektrischen Isolation für den Flugtransport“, welche ggf. aufgrund von anspruchsvoller CO₂-Zielen und einer damit verbundenen Reduktion von Flugtransporten nicht aus der Vorgängergeneration übernommen werden soll. (Kubin et al., 2022)

Für die beschriebenen Aspekte fehlt es im Systems Engineering an konkreten Vorgehensweisen, weswegen sich die Herausforderung der Systems-Engineering-basierten Wiederverwendung von Zielen und Anforderungen auf Basis von Bedarfen ergibt. (Kubin et al., 2022)

Die im Rahmen der empirischen Studie identifizierten drei Herausforderungen bestätigen und konkretisieren die Erkenntnisse aus der Literatur. Aus diesem Grund bilden sie die Basis für das Forschungsziel und die Vorgehensweise der Forschungsarbeit, welche im folgenden Kapitel ausgeführt werden.

3 Zielsetzung und Vorgehensweise

Ausgehend von dem in Kapitel 2 beschriebenen Stand der Forschung erfolgt in diesem Kapitel die abschließende *Klärung des Forschungsgegenstands* (Blessing & Chakrabarti, 2009). Hierfür bilden die in Abschnitt 2.5 eingeführten Herausforderungen bei dem Systems-Engineering-basierten Spezifizieren von Zielen und Anforderungen anhand von Bedarfen die Grundlage. Aufbauend auf den Herausforderungen werden in Abschnitt 3.1 Forschungsbedarf und -ziel hergeleitet. Das Forschungsziel wird anschließend durch drei zentrale Forschungshypothesen sowie ergänzende Forschungsfragen in Abschnitt 3.2 konkretisiert. In Abschnitt 3.3 wird die Dr. Ing. h.c. F. Porsche AG als Forschungsumgebung der vorliegenden Arbeit vorgestellt. Abschließend werden in Abschnitt 3.4 die verwendeten Forschungsmethoden sowie das Forschungsdesign beschrieben.

3.1 Forschungsbedarf und -ziel

Die Forschungslücke wird durch drei Herausforderungen von Automobilherstellern beim Systems-Engineering-basierten Spezifizieren von Zielen und Anforderungen anhand von Bedarfen charakterisiert (vgl. Abschnitt 2.5 und Kubin et al. (2022)):

- **Herausforderung 1:** (Systemgenerationsübergreifendes) Bedarfs-, Ziel- und Anforderungsverständnis
- **Herausforderung 2:** Systems-Engineering-basiertes Zusammenspiel von Bedarfen, Zielen und Anforderungen
- **Herausforderung 3:** Systems-Engineering-basierte Wiederverwendung von Zielen und Anforderungen auf Basis von Bedarfen

Diese praxisrelevanten Herausforderungen machen den Forschungsbedarf an einer prozessualen und methodischen Unterstützung deutlich. Demzufolge muss das *systemgenerationsübergreifende Bedarfs-, Ziel- und Anforderungsverständnis* durch eine formale Bedarfsdefinition sowie durch eine Beschreibung der Variationsarten im Modell der SGE – Systemgenerationsentwicklung unterstützt werden. Darauf aufbauend bedarf es einer prozessualen und methodischen Unterstützung des *Zusammenspiels von Bedarfen, Zielen und Anforderungen* zur Steigerung der Nachvollziehbarkeit von Zielen und Anforderungen. Als Sonderfall des Zusammenspiels muss die *Wiederverwendung von Zielen und Anforderungen auf Basis von Bedarfen* prozessual durch das Modell der SGE unterstützt werden,

um dadurch potenzielle Fehler zu vermeiden. Der Forschungsbedarf mündet daher in dem folgenden Forschungsziel:

Ziel der Forschungsarbeit:

Ziel der vorliegenden Forschungsarbeit ist es, die Produktentwickelnden von Automobilherstellern bei dem Systems-Engineering-basierten Spezifizieren von Zielen und Anforderungen anhand von Bedarfen prozessual und methodisch im Modell der SGE – Systemgenerationsentwicklung zu unterstützen.

3.2 Forschungshypothesen und -fragen

Das Forschungsziel wird durch drei zentrale Forschungshypothesen fokussiert (Blessing & Chakrabarti, 2009, 92f.). Diese greifen den Forschungsbedarf auf und orientieren sich an den drei Herausforderungen von Automobilherstellern bei dem Systems-Engineering-basierten Spezifizieren von Zielen und Anforderungen anhand von Bedarfen.

Forschungshypothese 1:

Durch eine formale Definition von Bedarfen, eine Abgrenzung zu Zielen und Anforderungen und eine Beschreibung im Modell der SGE – Systemgenerationsentwicklung kann ein systemgenerationsübergreifendes Verständnis aufgebaut werden.

Forschungshypothese 2:

Die prozessuale und methodische Unterstützung des Zusammenspiels von Bedarfen, Zielen und Anforderungen in der Automobilentwicklung steigert die Nachvollziehbarkeit bei der Festlegung von Zielen und Anforderungen.

Forschungshypothese 3:

Die Produktentwickelnden von Automobilherstellern können bei der Wiederverwendung von Zielen und Anforderungen auf Basis von Bedarfen prozessual durch das Modell der SGE – Systemgenerationsentwicklung unterstützt werden und dadurch potenzielle Fehler vermeiden.

Die Forschungshypothesen können wiederum durch Forschungsfragen (FF) konkretisiert werden. Diese strukturieren das Forschungsvorgehen und orientieren sich dementsprechend an den Forschungsaktivitäten einer Entwicklungsmethodischen Arbeit (Aufbau eines detaillierten Verständnisses der Problemstellung, Entwicklung eines systematischen Lösungsansatzes, Evaluation der Anwendbarkeit und des Erfolgs des Ansatzes) (Blessing & Chakrabarti, 2009, S. 18).

Forschungsfragen (FF) zu Forschungshypothese 1:

- FF1.I** Welche Ansätze zur Definition und Formulierung von Bedarfen im Systems Engineering existieren in der Literatur?
- FF1.II** Wie können Bedarfe im Systems Engineering formal definiert, formuliert und im Modell der SGE beschrieben werden?
- FF1.III** Können die Merkmale der Bedarfsdefinition in der Praxis wiedergefunden werden und das systemgenerationsübergreifende Verständnis verbessern?

Forschungsfragen (FF) zu Forschungshypothese 2:

- FF2.I** Welche Faktoren beeinflussen das Zusammenspiel von Bedarfen, Zielen und Anforderungen in der Automobilentwicklung?
- FF2.II** Wie kann das Zusammenspiel von Bedarfen, Zielen und Anforderungen in der Automobilentwicklung prozessual und methodisch unterstützt werden?
- FF2.III** Welchen Beitrag leistet die prozessuale und methodische Unterstützung zur Steigerung der Nachvollziehbarkeit bei der Festlegung von Zielen und Anforderungen auf der Grundlage von Bedarfen in der Automobilentwicklung?

Forschungsfragen (FF) zu Forschungshypothese 3:

- FF3.I** Welche Faktoren beeinflussen die Wiederverwendung von Zielen und Anforderungen auf Basis von Bedarfen in der Automobilentwicklung und welche potenziellen Fehler können hierbei auftreten?
- FF3.II** Wie kann die Wiederverwendung von Zielen und Anforderungen auf Basis von Bedarfen in der Automobilentwicklung durch das Modell der SGE prozessual unterstützt werden?
- FF3.III** Können durch die Anwendung der prozessualen Unterstützung in der Automobilentwicklung potenzielle Fehler vermieden werden?

3.3 Forschungsumgebung

Die Forschungsarbeit ist in Kooperation mit der *Dr. Ing. h.c. F. Porsche AG* entstanden, welche als Forschungsumgebung für empirische Studien zur Analyse definierter Problemstellungen sowie zur Evaluation der erarbeiteten prozessualen und methodischen Unterstützung gedient hat. Die Dr. Ing. h.c. F. Porsche AG ist ein 1931 gegründeter deutscher Automobilhersteller, der sich auf die Entwicklung von Sportwagen fokussiert. Das Unternehmen ist seit 2012 Teil des Volkswagen-Konzerns und agiert dabei mit eigener Markenidentität sowie operativer Eigenständigkeit. Neben dem Stammwerk in Stuttgart-Zuffenhausen mit Geschäftsführung, Vertrieb und Marketing sowie einem Teil der Produktion verfügt das Unternehmen über ein weiteres Produktionswerk in Leipzig sowie das Entwicklungszentrum in Weissach. Im Jahr 2022 arbeiteten circa 39.000 Mitarbeiter bei der Dr. Ing. h.c. F. Porsche AG, davon ungefähr 6.700 in Weissach. Das Produktpotential fokussiert sich auf das Premium-Segment im Wettbewerb und umfasst zweitürige Sportwagen sowie sportliche Limousinen und Sport Utility Vehicles (SUV).

Der Autor war für die Dauer der Forschungsarbeit als mitarbeitender Forscher in der Abteilung „Anforderungen & Organisationsentwicklung“ beschäftigt. Diese Abteilung ist Teil der Hauptabteilung „Gesamtfahrzeug-Architektur & -Eigenschaften“ im Entwicklungsressort und steht im Zentrum der Betrachtungen der vorliegenden Forschungsarbeit. Die Abteilung verantwortet die prozessuale, methodische und toolseitige Unterstützung des Anforderungsmanagements sowie die operative Erstellung der Spezifikation des Fahrzeugsystems in allen Fahrzeugprojekten. Infolgedessen ist das Spezifizieren der Ziele und Anforderungen anhand von

Bedarfen ein inhaltlicher Schwerpunkt. Hierbei gibt es nicht nur zahlreiche Schnittstellen zu anderen Hauptabteilungen im Entwicklungsbereich, sondern auch zu weiteren Ressorts wie Vertrieb, Produktion und Geschäftsleitung.

3.4 Forschungsmethode und -design

Zur Beantwortung der Forschungsfragen (vgl. Abschnitt 3.2) orientiert sich die vorliegende Forschungsarbeit an der *DRM – Design Research Methodology* nach Blessing und Chakrabarti (2009). Diese strukturiert Forschungsarbeiten der anwenderorientierten Methodenforschung durch vier Phasen:

- Die *Klärung des Forschungsgegenstands* dient zur Einordnung und Abgrenzung des Forschungsthemas. Hierzu werden ausgehend von einer Analyse des Stands der Forschung eine Forschungslücke abgeleitet und ein Forschungsziel definiert.
- Die *Deskriptive Studie I* (DS-I) vertieft das Verständnis des Forschungsgegenstands. Hierzu werden weiterführende, ggf. empirische Studien durchgeführt und *Unterstützungsfaktoren* an die zu entwickelnde Systematik abgeleitet.
- Die *Präskriptive Studie* (PS) beschreibt die Entwicklung einer Systematik zur Unterstützung der Produktentwickelnden. Hierbei ist insbesondere die Erfüllung der Unterstützungsfaktoren zu überprüfen.
- Die *Deskriptive Studie II* (DS-II) evaluiert die entwickelte Systematik. Hierzu können *Anwendbarkeitsfaktoren* und *Erfolgsfaktoren* herangezogen werden.

Die Phasen verlaufen dabei in realen Forschungsprojekten iterativ (Marxen, 2014). Zudem können Umfang und Vorgehen innerhalb der Phasen in Abhängigkeit des Forschungsprojekts variieren. Aus diesem Grund werden literaturbasierte Studien, umfassende Studien sowie initiale Studien unterschieden. Hieraus ergeben sich sieben mögliche Typen von Forschungsprojekten in der Produktentwicklung (Blessing & Chakrabarti, 2009, S. 18). Die vorliegende Arbeit entspricht dem Typ 5, welcher neben einer literaturbasierten Klärung des Forschungsgegenstands eine umfassende DS-I und PS sowie eine initiale DS-II beschreibt.

Hierzu werden zunächst anhand einer Literaturanalyse relevante Grundlagen sowie der Stand der Forschung analysiert (Kapitel 2). Darauf aufbauend erfolgt die abschließende Klärung des Forschungsgegenstands durch die Deduktion des Forschungsziels sowie konkretisierender Forschungshypothesen und -fragen (Kapitel 3). In der DS-I werden anschließend für jede der drei im Stand der Forschung identifizierten Herausforderungen umfassende Studien durchgeführt

(Kapitel 4). Zunächst werden Ansätze zur Definition und Formulierung von Bedarfen in der Systems-Engineering-Literatur untersucht (vgl. Herausforderung 1). Darauf aufbauend werden Einflussfaktoren für das Zusammenspiel von Bedarfen, Zielen und Anforderungen in der Automobilentwicklung analysiert (vgl. Herausforderung 2). In der dritten Studie der DS-I werden Einflussfaktoren für die Wiederverwendung von Zielen und Anforderungen auf Basis von Bedarfen in der Literatur identifiziert und dabei potenziell auftretende Fehler in der Praxis automobiler Entwicklungsprojekte untersucht (vgl. Herausforderung 3). Aufbauend auf den im Rahmen der DS-I abgeleiteten Unterstützungs faktoren sowie auf den literaturbasierten Elementen der KaSPro – Karlsruher Schule für Produktentwicklung werden in der umfassenden PS die drei Herausforderungen prozessual und methodisch unterstützt (Kapitel 5). Hierzu werden zunächst eine formale Bedarfsdefinition und eine Beschreibung der Variationsarten von Bedarfen, Zielen und Anforderungen im Modell der SGE eingeführt (vgl. Herausforderung 1). Diese dienen als Basis für einen Referenzprozess sowie methodische Unterstützung zum Zusammenspiel von Bedarfen, Zielen und Anforderungen (vgl. Herausforderung 2) und für einen Referenzprozess zur Wiederverwendung von Zielen und Anforderungen auf Basis von Bedarfen (vgl. Herausforderung 3). Die entwickelten Systematiken werden anschließend im Rahmen einer initialen DS-II in der Produktentwicklungspraxis bei der Dr. Ing. h.c. F. Porsche AG sowie bei der TRUMPF SE + Co. KG und im Live-Lab *ProVIL - Produktentwicklung im virtuellen Ideenlabor* evaluiert (Kapitel 6).

Das beschriebene Forschungsdesign wird in Abbildung 3.1 zusammengefasst.

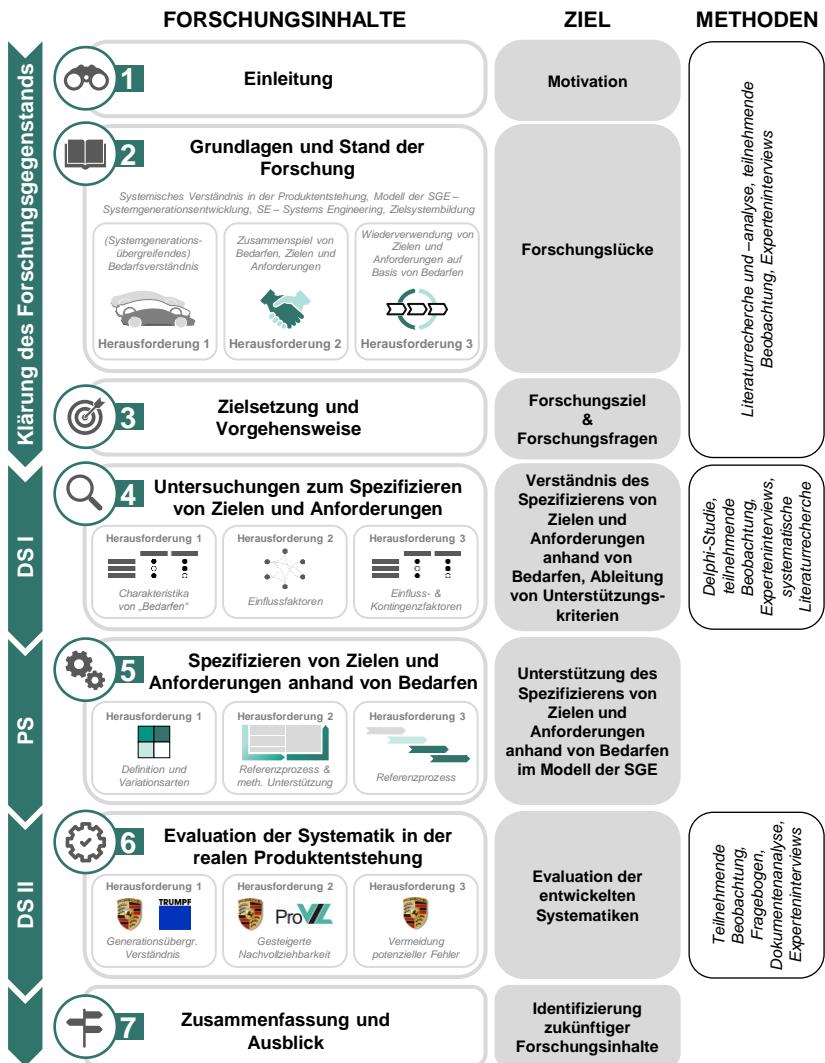


Abbildung 3.1: Forschungsdesign der vorliegenden Arbeit

4 Untersuchungen zum Spezifizieren von Zielen und Anforderungen anhand von Bedarfen in Literatur und Praxis

In diesem Kapitel werden Untersuchungen zum Spezifizieren von Zielen und Anforderungen anhand von Bedarfen in Literatur und Praxis beschrieben, die im Rahmen einer umfassenden *Deskriptiven Studie I* (DS-I) entstanden sind und der vertieften Durchdringung des Forschungsgegenstands dienen (Blessing & Chakrabarti, 2009). Eine Übersicht der DS-I kann Abbildung 4.1 entnommen werden.

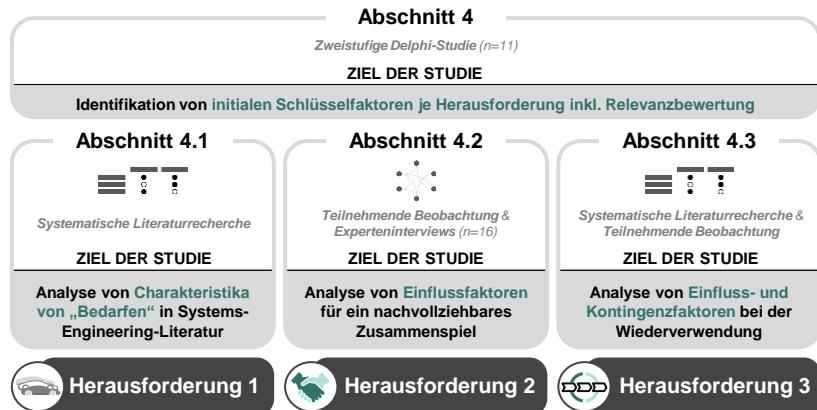


Abbildung 4.1: Übersicht der Deskriptiven Studie I (DS-I)

Hierbei werden zunächst *initiale Schlüsselfaktoren* identifiziert, die sich auf die identifizierten Herausforderungen beziehen (vgl. Abschnitt 2.5). Darauf aufbauend werden für jede der drei Herausforderungen vertiefende Studien durchgeführt. Abschnitt 4.1 fokussiert sich auf Herausforderung 1 und beschreibt die Analyse von Ansätzen zur Definition und Formulierung von Bedarfen in Systems-Engineering-Literatur. In Abschnitt 4.2 wird im Rahmen einer empirischen Studie ein vertieftes Verständnis für Herausforderung 2 aufgebaut, indem Einflussfaktoren für das Zusammenspiel von Bedarfen, Zielen und Anforderungen untersucht werden. Abschnitt 4.3 zielt auf Herausforderung 3 ab und beschreibt neben einer literaturbasierten Analyse von Einflussfaktoren für die Wiederverwendung von

Zielen und Anforderungen auf Basis von Bedarfen empirisch erhobene, potenziell auftretende Fehler, sogenannte Kontingenzfaktoren, bei der Wiederverwendung. Auf Basis der initialen Schlüsselfaktoren und der weiterführenden Studien werden in Abschnitt 4.4 Unterstützungs faktoren an die *Präskriptive Studie* (PS) abgeleitet.

In einer ersten übergreifenden Studie soll initial ein tiefergehendes Verständnis für die drei Herausforderungen aufgebaut werden. Zu diesem Zweck wurde eine zweistufige Delphi-Studie mit Expert*innen aus dem Umfeld des Anforderungsmanagements eines OEMs durchgeführt. Ziel war es, initiale Schlüsselfaktoren je Herausforderung inkl. einer Relevanzbewertung zu identifizieren. Das Studiendesign und -vorgehen sowie die Ergebnisse werden im Folgenden geschildert und wurden in der Publikation Kubin et al. (2022) veröffentlicht.

Studiendesign und -vorgehen

Zur Identifikation von initialen Schlüsselfaktoren an die prozessuale und methodische Unterstützung beim Systems-Engineering-basierten Spezifizieren von Zielen und Anforderungen anhand von Bedarfen wurde aufbauend auf den drei Herausforderungen eine zweistufige *Delphi-Studie* vom Typ I – Ideenaggregation durchgeführt (Häder, 2014). Die erste Phase der Studie verfolgt dabei die qualitative Ideenaggregation durch eine ausgewählte Expertengruppe. Anschließend erfolgt im Rahmen der zweiten Phase eine quantitative Relevanzbewertung der Ergebnisse der ersten Phase.

Für eine facettenreiche qualitative *Ideenaggregation* in der ersten Phase wurde die Expertengruppe möglichst interdisziplinär zusammengesetzt (Häder, 2014). Hierzu wurden ausgehend von dem Forschungsgegenstand (vgl. Kapitel 3) sieben Kriterien definiert, die durch das Expert*innen-Panel abgedeckt werden sollten:

- Expertise in der Erhebung von Stakeholder-Bedarfen
- Expertise in der kundenorientierten strategischen Produktpositionierung
- Erfahrung in dem Spezifizieren von Zielen und Anforderungen anhand von Bedarfen
- Erfahrung in dem Änderungsmanagement der Ziele und Anforderungen
- Erfahrung in der bereichsübergreifenden Schnittstellenabstimmung
- Expertise im Anforderungsmanagement anderer Branchen

Zur Berücksichtigung aller Kriterien wurde eine Gruppe von sechs Expert*innen eines OEMs ausgewählt (u.a. Produktstrategie, Vertrieb, Projektleitung,

Produktentwicklung). Alle Expert*innen arbeiteten zum Zeitpunkt der Befragung seit mindestens drei Jahren bei dem Automobilhersteller.

Die Ideenaggregation wurde anhand von 60- bis 75-minütigen semi-strukturierten Interviews mit den einzelnen Expert*innen durchgeführt. Die Interviews waren dabei anhand der drei Herausforderungen strukturiert, um eine möglichst eindeutige Zuweisung der Expertenaussagen zu den Herausforderungen zu ermöglichen. Die Aussagen wurden anschließend in Form von initialen Schlüsselfaktoren zusammengefasst. (Kubin et al., 2022)

Aufbauend auf den initialen Schlüsselfaktoren wurde in der zweiten Phase der Delphi-Studie eine *Relevanzbewertung* durchgeführt. Zu diesem Zweck wurde die ursprüngliche Expertengruppe aus der ersten Phase um fünf Expert*innen erweitert. Diese stellen operative Anwender einer prozessualen und methodischen Unterstützung des Spezifizierens von Zielen und Anforderungen anhand von Bedarfen dar, sodass durch die Einbindung der zusätzlichen Expert*innen eine verstärkte Zentrierung auf die relevanten Produktentwickelnden realisiert wurde. Somit wurde die Relevanzbewertung der initialen Schlüsselfaktoren in Summe von 11 Expert*innen vorgenommen. Das auf der Berufserfahrung in Jahren basierende, objektive Erfahrungsniveau sowie das Selbsteinschätzungs niveau der Expert*innen ist in Abbildung 4.2 dargestellt. (Kubin et al., 2022)

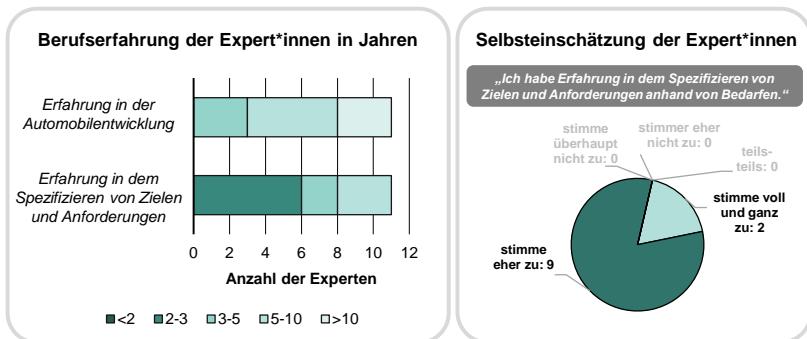


Abbildung 4.2: Erfahrungs- und Selbsteinschätzungs niveau der Expert*innen (n=11) der zweiten Phase der Delphi-Studie nach Kubin et al. (2022)

Die Relevanzbewertung der initialen Schlüsselfaktoren jeder Herausforderung wurde anschließend als Gesamtmenge auf statistisch signifikante Unterschiede untersucht. Zu diesem Zweck wurde der *Friedmann-Test* angewendet, da dieser insbesondere bei abhängigen, ordinalskalierten Stichproben eine aussagekräftige Teststärke vorweist und zudem keine normalverteilten Daten voraussetzt. Der

Friedmann-Test prüft anhand der mittleren Ränge der Relevanzbewertungen, ob statistisch signifikante Unterschiede bei einem angenommenen *Signifikanzniveau* $\alpha_{sig} = 0,05$ festzustellen sind. Bei einer *Fehlerwahrscheinlichkeit* $p < \alpha_{sig}$ wird die *Nullhypothese*, dass keine signifikanten Unterschiede zwischen den Stichproben (i.S.v. initialen Schlüsselfaktoren) bestehen, abgelehnt. Umgekehrt ist eine Ablehnung der Nullhypothese bei $p > \alpha_{sig}$ nicht möglich.

Studienergebnisse

Aufbauend auf der qualitativen Ideenaggregation im Rahmen der ersten Phase der Delphi-Studie wurden 11 initiale Schlüsselfaktoren an die prozessuale und methodische Unterstützung beim Systems-Engineering-basierten Spezifizieren von Zielen und Anforderungen anhand von Bedarfen abgeleitet. Diese wurden basierend auf den Experteninterviews den drei Herausforderungen zugeordnet. Tabelle 1 zeigt die initialen Schlüsselfaktoren (S1-11) inkl. der Zuordnung zu den Herausforderungen (H1-3).

Basierend auf der Relevanzbewertung der initialen Schlüsselfaktoren in der zweiten Phase der Delphi-Studie wurde der Friedmann-Test durchgeführt. Dieser zeigt, dass mit einer Fehlerwahrscheinlichkeit $p > 0,05 = \alpha_{sig}$ bei jeder Gruppe (i.S.v. Herausforderung) an initialen Schlüsselfaktoren die Nullhypothese nicht abgelehnt wird. Dementsprechend ist keine Aussage zu statistisch signifikanten Unterschieden zwischen den Stichproben möglich. Infolgedessen wird das Relevanzniveau der initialen Schlüsselfaktoren in den drei Gruppen als statistisch identisch betrachtet.

Das arithmetische Mittel der Relevanzbewertung und der mittlere Rang sind in Tabelle 2 für die initialen Schlüsselfaktoren dargestellt. Zudem sind die Ergebnisse des Friedmann-Tests für die einzelnen Herausforderungen abgebildet. Hierbei wurde die Relevanz anhand einer fünfstufigen *Likert-Skala* mit den Ausprägungen „absolut relevant“ (5), „eher relevant“ (4), „teils-teils“ (3), „eher nicht relevant“ (2) und „gar nicht relevant“ (1) quantifiziert. Der Rang beschreibt dahingegen basierend auf der Relevanzbewertung die Position der einzelnen initialen Schlüsselfaktoren innerhalb einer Gruppe, wobei ausgehend von der Stichprobe mit der maximalen Relevanz der Rang absteigend vergeben wird¹.

¹ Bspw. hat in einer Gruppe mit vier Stichproben derjenige initiale Schlüsselfaktor mit der höchsten Relevanzbewertung den Rang 4, der Faktor mit der zweithöchsten Relevanz den Rang 3 usw.

Tabelle 1: Initiale Schlüsselfaktoren an die prozessuale und methodische Unterstützung nach Kubin et al. (2022)

Die prozessuale und methodische Unterstützung soll durch...

S1	...eine Abgrenzung von Bedarfen zu Zielen und Anforderungen anhand weniger und möglichst eindeutiger Kriterien...	H1
S2	...eine Beschreibung der Variationsarten von Bedarfen, Zielen und Anforderungen einen systematischen Transfer zwischen Systemgenerationen ermöglichen und damit...	
S3	...eine Integration in bereits bestehende etablierte Strukturen...	
...das (systemgenerationsübergreifende) Bedarfs-, Ziel- und Anforderungsverständnis unterstützen.		

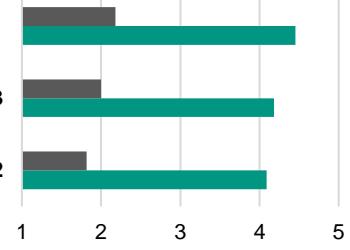
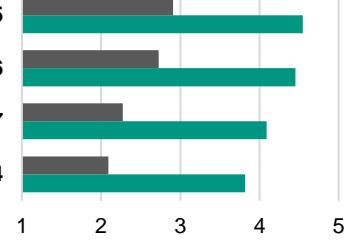
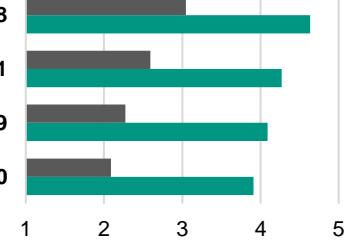
Die prozessuale und methodische Unterstützung soll durch...

S4	...eine flexible Anwendbarkeit und Anpassungsmöglichkeit...	H2
S5	...transparente und statusabhängige Vorgehensweisen zur Berücksichtigung von Änderungsbegehren über den gesamten Produktentstehungsprozess...	
S6	...transparente und statusabhängige Vorgehensweisen zur Überführung von Bedarfen in Ziele und Anforderungen...	
S7	...Adaptionsmöglichkeiten an unterschiedliche Bedarfsqualitäten...	
...das Systems-Engineering-basierte Zusammenspiel von Bedarfen, Zielen und Anforderungen unterstützen.		

Die prozessuale und methodische Unterstützung soll durch...

S8	...eine initiale Plausibilisierung wiederzuverwendender Anforderungen hinsichtlich der Aktualität und Gültigkeit im Projekt...	H3
S9	...eine Ausrichtung der Aktivitäten an den logischen Systemebenen...	
S10	...eine Berücksichtigung der Anforderungswirkketten wiederzuverwendender Anforderungen...	
S11	...eine Betrachtung der wiederzuverwendenden Anforderungen hinsichtlich der Konsistenz zum bestehenden Systemkonzept des (Sub-)Systems...	
...die Systems-Engineering-basierte Wiederverwendung von Zielen und Anforderungen auf Basis von Bedarfen unterstützen.		

Tabelle 2: Statistische Auswertung der Relevanzbewertung der initialen Schlüsselfaktoren nach Kubin et al. (2022)

	Initialer Schlüsselfaktor	Teststatistik χ^2	p-Wert
H1		1,19	0,55
H2		4,08	0,25
H3		4,23	0,24

■ Mittlerer Rang ■ Durchschnittliche Relevanzbewertung

$\alpha_{\text{sig.}} = 0,05$

4.1 Analyse von Ansätzen zur Definition und Formulierung von Bedarfen in der Literatur

Im Rahmen der zweiten Studie soll die Herausforderung des systemgenerationsübergreifenden Bedarfs-, Ziel- und Anforderungsverständnisses ergründet werden. Vor dem Hintergrund soll Forschungsfrage 1.I (vgl. Abschnitt 3.2) beantwortet werden:

FF1.I Welche Ansätze zur Definition und Formulierung von Bedarfen im Systems Engineering existieren in der Literatur?

Zur Beantwortung der Forschungsfrage wurde eine systematische Literaturrecherche (SLR) im englisch- und deutschsprachigen Raum ohne zeitliche Limitierung durchgeführt. Ziel der Literaturrecherche war es, Charakteristika zur Definition und Formulierung von Bedarfen in der Systems-Engineering-Literatur zu identifizieren. Die in diesem Abschnitt beschriebenen Analysen sind in der Publikation Kubin et al. (2023) veröffentlicht worden. Die Untersuchungen wurden teilweise im Rahmen der vom Autor Co-betreuten studentischen Abschlussarbeit von Reichert (2022)¹ durchgeführt.

Studiendesign und -vorgehen

Die systematische Literaturrecherche zur Identifikation von Ansätzen zur Definition und Formulierung von Bedarfen basiert auf dem von Xiao und Watson (2017) beschriebenen Vorgehen und folgt den sieben, in Abbildung 4.3 dargestellten, Schritten.



Abbildung 4.3: Vorgehen im Rahmen der systematischen Literaturrecherche in Anlehnung an Xiao und Watson (2017)

Ausgehend von dem oben beschriebenen Ziel der systematischen Literaturrecherche wurden im Rahmen der *Festlegung der Suchstrategie* die

¹ Unveröffentlichte, vom Autor Co-betreute Masterarbeit

Datenbanken Scopus, Web of Science und Google Scholar ausgewählt, um möglichst viele potenziell relevante Quellen zu identifizieren. Aufgrund der frühen Anfänge des Systems Engineerings wurden keine Einschränkungen hinsichtlich des Zeitpunkts der Veröffentlichung vorgenommen. Nach Sichtung der zentralen englischsprachigen Systems-Engineering-Literatur wurden "needs", "goals", "objectives", "concerns", "expectations" und "preferences" als die am häufigsten verwendeten Begriffe bei der Beschreibung von Stakeholder-Bedarfen identifiziert und in einer initialen Suche zum *Keyword-Refinement* (dt.: Stichwortverfeinerung) bestätigt (Hirshorn, Voss & Bromley, 2017; INCOSE, 2015; ISO 15288; ISO 29148). Hierbei konnten insbesondere die Begriffe "wishes" und "demands" ausgeschlossen werden, da im Rahmen des Keyword-Refinements keine Belege für die Etablierung dieser Ausdrücke in der Systems-Engineering-Literatur aufgekommen sind, wohingegen "preferences" anknüpfend an die Suche hinzugefügt wurde. Auch "customer needs" wurde als prominenter Begriff identifiziert, da in der Literatur häufig der Fokus auf die Kunden als zentrale Stakeholder-Gruppe gelegt wird. Infolgedessen wurde im Rahmen der systematischen Literaturrecherche der folgende englischsprachige Suchstring verwendet, um potenziell relevante Dokumente anhand ihres Titels oder Abstracts zu identifizieren:

**("Stakeholder Needs" OR "Stakeholder Goals" OR "Stakeholder Objectives"
OR "Stakeholder Concerns" OR "Stakeholder Expectations" OR "Stakeholder
Preferences" OR "Customer Needs") AND "Systems Engineering"**

Um die zur Verfügung stehenden Daten zu erweitern, wurde der Suchstring zudem ins Deutsche übersetzt:

**(„Stakeholder Bedarfe“ OR „Stakeholder Bedürfnisse“ OR „Stakeholder
Ziele“ OR „Stakeholder Erwartungen“ OR „Kundenbedarfe“ OR
„Kundenbedürfnisse“) AND („Systems Engineering“)**

Bei der englischsprachigen *Suche in der Literatur*² lieferte Scopus 245 Ergebnisse, Web of Science 49 Ergebnisse und Google Scholar rund 18.000 Ergebnisse. Google Scholar zeigte dabei deutlich mehr Ergebnisse als die anderen beiden Datenbanken auf, da die zugrundeliegende Auswahl an Quellen weniger streng selektiert wird. Für den deutschen Suchstring, wurden in Scopus und Web of Science keine Ergebnisse gefunden, während Google Scholar 663 Ergebnisse lieferte. In den folgenden Schritten wurden alle Ergebnisse von Scopus und Web of

² Stand: 09. Mai 2022

Science analysiert, während bei Google Scholar sowohl für die englische als auch für die deutsche Suche lediglich die ersten 100 Ergebnisse berücksichtigt wurden, um den Fokus auf die relevantesten Dokumente zu legen. (Kubin et al., 2023)

Nach der Identifikation doppelter Ergebnisse wurden 488 Dokumente zur *Überprüfung zur Aufnahme* (engl.: Screening) ausgewählt. Bei der Überprüfung wurde deutlich, dass eine beträchtliche Anzahl der häufig zitierten Quellen keinem *Peer-Review* (dt.: Kreuzgutachten) unterzogen wurde. Diese Ergebnisse wurden dennoch berücksichtigt, da sie für das Verständnis von Stakeholder-Bedarfen in diesen Bereichen wichtig sind. Ein Überblick über die Ergebnisse des Screening-Prozesses ist in Abbildung 4.4 dargestellt.

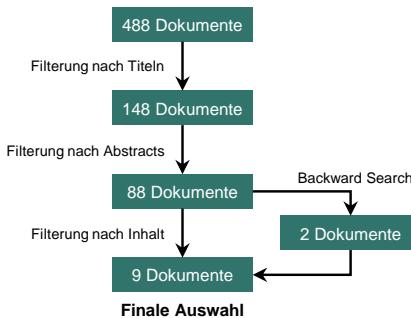


Abbildung 4.4: Ergebnisse des Screenings

Im ersten Schritt wurden die Ergebnisse anhand des Titels des Dokuments gefiltert, um die Schwerpunkte Systems Engineering, Requirements Engineering, Methodik und Stakeholder im weiteren Verlauf der *Bewertung der Qualität* zu fokussieren. Im nächsten Schritt wurden die Abstracts der verbleibenden 148 Dokumente nach denselben Kriterien bewertet. Für die daraus resultierenden 88 Referenzen mit einem relevanten Abstract wurde versucht Zugriff auf den Volltext zu erhalten, was in 13 Fällen nicht möglich war. Nach der Sichtung der verbleibenden 75 Dokumente wurden diese in Abhängigkeit ihrer inhaltlichen Relevanz in Bezug auf das Ziel der SLR in vier Kategorien eingeteilt. Die erste Kategorie war für Dokumente reserviert, die eine explizite Definition oder starke Charakterisierung von Stakeholder-Bedarfen bieten und enthält neun Referenzen. Diese wurden insbesondere häufig in anderer Literatur zitiert. Die Dokumente der zweiten Kategorie boten nur begrenzte Einblicke in die Charakterisierung von Stakeholder-Bedarfen. 11 Ergebnisse wurden dieser Gruppe zugeordnet. Die 15 Dokumente der dritten Kategorie enthielten keine eigenen Charakterisierungen, verwiesen jedoch auf weitere potenziell relevante Literatur und lieferten damit die Grundlage für die Rückwärtssuche (engl.: Backward

Search). In der vierten Kategorie konnten keine, in Bezug auf das Ziel der SLR relevanten Inhalte identifiziert werden. Dies war mit 42 Dokumenten die größte Kategorie. (Kubin et al., 2023)

Studienergebnisse

Die *Extraktion von Daten* aus den analysierten Dokumenten ermöglicht Rückschlüsse auf die im Systems Engineering verwendete Terminologie. Während alle Suchbegriffe in unterschiedlichem Maße verwendet werden, ist "Bedarfe" der bei weitem am häufigsten genutzte Begriff. Dies wird insbesondere durch die Ergebnisse der ersten Kategorie bestätigt, da dort fast ausschließlich der Begriff der „Bedarfe“ verwendet wird. In der folgenden *Analyse und Synthese der Daten* werden die Inhalte der Dokumente der ersten Kategorie in Bezug auf die Definition und Formulierung von Bedarfen unter Berücksichtigung von Ergebnissen aus der zweiten und dritten Kategorie untersucht. Die identifizierten Charakteristika sind in Tabelle 3 zusammengefasst. (Kubin et al., 2023)

Agouridas, Winand, McKay und Pennington (2006) unterscheiden zwischen Stakeholder-Bedarfen und Stakeholder-Attributen als zwei Arten von Stakeholder-Anforderungen. Ein Stakeholder-Attribut beschreibt eine inhärente Fähigkeit, die von der Lösung und den damit verbundenen Aktivitäten abhängen kann. Im Gegensatz dazu beschreiben Stakeholder-Bedarfe eine Fähigkeitslücke (*engl.: capability void*), die als Bedarf an einer technischen Fähigkeit in einem Produkt oder einer Dienstleistung angesehen werden kann. Zudem sind sie unabhängig von der Lösung sowie den mit der technischen Realisierung verbundenen Aktivitäten und somit unverbindlich.

Larson, Kirkpatrick, Sellers, Thomas und Verma (2009) beschreiben, dass sich Bedarfe auf ein Problem beziehen sollten, welches durch das System gelöst werden soll und nicht auf die daraus resultierende (technische) Realisierung. Die Formulierung sollte singulär und damit eindeutig sein, um die Erwartungen der Stakeholder nicht zu verfehlten. Es wird zudem darauf hingewiesen, dass die Bedarfe bestätigt und anschließend nicht mehr geändert werden sollten, auch wenn ein Bedarf nicht erfüllt werden kann. Diese Definition wurde zudem in den Systems Engineering Standards der NASA veröffentlicht (Hirshorn, 2016; Hirshorn et al., 2017).

Die Definition von Bedarfen im Systems Engineering Handbook (vgl. Abschnitt 2.4.1) konzentriert sich fast ausschließlich auf gewünschte Fähigkeiten oder Eigenschaften, die fehlen, ähnlich wie von Agouridas et al. (2006) beschrieben (INCOSE, 2015). Hierbei werden jedoch neben den technischen Bedarfen der Stakeholder auch die ökonomischen Erwartungen berücksichtigt.

Tabelle 3: Charakteristika von Bedarfen in Systems-Engineering-Literatur nach Kubin et al. (2022)

Referenzen	Definition						Formulierung			
	Lösungsoffen	Unverbindlich	Technisch und ökonomisch	Erwartungen	(Sub-)System	Projektbestätigung	Abstraktionsgrad	Eindeutigkeit	Stakeholder-Perspektive	Qualitativ
Agouridas et al. (2006)	●	●	●	○	○	○	○	○	○	○
Larson et al. (2009)	●	●	○	●	●	●	○	●	○	○
INCOSE (2015)	○	○	●	○	○	○	○	○	○	○
Ryan et al. (2015)	●	○	○	●	○	●	○	○	●	○
Bhise (2017)	○	●	○	○	●	○	○	○	○	○
Brusa (2018)	○	○	○	●	○	○	●	○	○	●
Eichmann et al. (2020)	○	○	○	●	●	○	●	○	●	○
Salado (2021)	●	○	○	○	●	○	○	○	●	○
Faisandier et al. (2022)	●	○	○	●	○	○	●	●	○	○

● Charakteristika werden erwähnt
○ Charakteristika werden nicht erwähnt

Ryan et al. (2015) argumentieren, dass Bedarfe im Allgemeinen als Erwartungen betrachtet werden, welche in der Sprache und aus der Perspektive der Stakeholder formuliert werden. Hierbei kann zwischen verschiedenen Arten von Bedarfen, von der Ebene des Unternehmens bis hin zur Ebene der Systemelemente, unterschieden werden. Es wird eine allgemeine Definition für "Bedarfe" vorgeschlagen, die auf alle Ebenen anwendbar ist. Bedarfe werden als vereinbarte Erwartungen beschrieben, die sich auf eine Funktion oder die Qualität eines Elements beziehen. Aufgrund der Unterscheidung verschiedener Arten von Bedarfen werden die Stakeholder-Bedarfe und die daraus abgeleiteten

Stakeholder-Anforderungen auf der operativen Ebene angesiedelt. Sie fokussieren sich dementsprechend darauf, welchen Kunden- und Anwendernutzen das System stiftet (vgl. auch Abschnitt 2.2.1, Produktprofil nach Albers, Heimicke und Walter et al. (2018)), und sind somit Teil der Problemdomäne und nicht der Lösungsdomäne (Ryan, 2013).

Bhise (2017) beschreibt die Anwendung von Systems Engineerings in der Automobilindustrie und argumentiert, dass die Kundenbedarfe alle Aspekte des Fahrzeugs beschreiben sollten, sowohl ökonomischer als auch technischer Art. Darüber hinaus sollten die Kundenbedarfe im Gesamtsystem und nicht in Subsystemen adressiert werden. Die Beispiele, die für die Kundenbedarfe angeführt werden, deuten zudem auf einen unverbindlichen Charakter hin, unter anderem da Bedingungen beschrieben werden, unter denen die Bedarfe im Projekt anwendbar sind.

Brusa (2018) bietet eine Anleitung zur Anwendung von Systems Engineering in der Produktentwicklungspraxis. Die damit verbundene Charakterisierung von Kundenbedarfen fokussiert sich auf deren abstrakten Charakter in Form von grob formulierten Erwartungen, die das zu entwickelnde Produkt beschreiben und damit die Basis für die Validierung bilden. Im Rahmen eines didaktischen Testfalls wird zudem ausgeführt, dass Bedarfe als qualitative Ziele ausgedrückt werden, die für eine technische Spezifikation unzureichend sind.

Eichmann, Melzer, Giertzsch und God (2020) gehen auf System-of-Systems-Charakteristika und Requirements-Engineering-Ansätze bei der Dienstleistungsentwicklung ein. Bedarfe werden dabei als abstrakte Repräsentationen von Anforderungen, Fähigkeiten oder Zielen betrachtet (vgl. auch Abschnitt 2.4.1, Zielsystemverständnis nach Ebel (2015)). Darüber hinaus beschreiben Bedarfe die Erwartungen und Wünsche der Stakeholder an das zu entwickelnde System.

Salado (2021) argumentiert, dass Stakeholder-Bedarfe und System-Anforderungen ausreichen, um die Problemformulierung im Systems Engineering zu unterstützen, und zeigt Unstimmigkeiten in der verwendeten Terminologie auf. Das Unterscheidungsmerkmal ist, dass sich Stakeholder-Bedarfe auf die Interaktion des Systems mit externen Systemen fokussieren, während System-Anforderungen unabhängig von den externen Systemen die Systemgrenzen beschreiben. Infolgedessen sind Stakeholder-Bedarfe unabhängig von einer prospektiven Lösung, da nur die Eigenschaften der Interaktion beschrieben werden (vgl. auch Abschnitt 2.2.4, Eigenschaften nach Albers und Heitger et al. (2018)). Darüber

hinaus werden die Bedarfe in den gegebenen Beispielen aus der Perspektive der Stakeholder formuliert.

Faisandier, Roedler und Adcock¹ beschreiben Stakeholder-Bedarfe und -Anforderungen im *Systems Engineering Body of Knowledge* (SEBoK) als problembezogene Ansichten, damit die (technische) Lösung die erforderlichen Leistungen erbringen kann. Beispiele wie eine "leichte Manövrierbarkeit beim Parken" zeigen die abstrakte und lösungsunabhängige Natur der Beschreibung. Zudem wird ausgeführt, dass die teilweise vagen und mehrdeutigen Erwartungen der Stakeholder in Form von klaren und prägnanten Bedarfen formuliert werden.

4.2 Analyse von Einflussfaktoren für das Zusammenspiel von Bedarfen, Zielen und Anforderungen in der Praxis

Die dritte Studie der DS-I fokussiert sich auf die Herausforderung des *Systems-Engineering-basierten Zusammenspiels von Bedarfen, Zielen und Anforderungen*. Hierbei soll Forschungsfrage 2.I (vgl. Abschnitt 3.2) beantwortet werden:

FF2.I Welche Faktoren beeinflussen das Zusammenspiel von Bedarfen, Zielen und Anforderungen in der Automobilentwicklung?

Zur Beantwortung der Forschungsfrage wurden eine teilnehmende Beobachtung im Anforderungsmanagement eines OEMs sowie darauf aufbauende Experteninterviews durchgeführt. Ziel war es hierbei, ausgehend von dem Status Quo des Automobilherstellers Einflussfaktoren für das Zusammenspiel von Bedarfen, Zielen und Anforderungen zu identifizieren. Die in diesem Abschnitt beschriebenen Analysen wurden in der Publikation Albers, Kubin et al. (vsl. 2025) veröffentlicht. Die Untersuchungen wurden teilweise im Rahmen der vom Autor Co-betreuten studentischen Abschlussarbeiten von Fisch (2022)² und Reichert (2022)² durchgeführt.

Studiendesign und -vorgehen

Die Analyse der Einflussfaktoren für das Zusammenspiel von Bedarfen, Zielen und Anforderungen und der damit verbundenen Beantwortung der Forschungsfrage

¹ https://sebokwiki.org/wiki/Stakeholder_Needs_Definition, 09.05.2022

² Unveröffentlichte, vom Autor Co-betreute Masterarbeit

folgt dem in Abbildung 4.5 dargestellten, fünfstufigen Vorgehen (Albers, Kubin et al., vsl. 2025).



Abbildung 4.5: Vorgehen im Zuge der Analyse von Einflussfaktoren

In einem ersten Schritt wurde zur *Identifikation von Kernpotenzialen* beim Zusammenspiel von Bedarfen, Zielen und Anforderungen eine 18-monatige *teilnehmende Beobachtung* bei einem deutschen Automobilhersteller durchgeführt. Zu diesem Zweck wurde die Frühe Phase der Entwicklung einer neuen Systemgeneration begleitet, wobei der Schwerpunkt der teilnehmenden Beobachtung auf dem Anforderungsmanagement lag. (Albers, Kubin et al., vsl. 2025)

Um das durch die teilnehmende Beobachtung aufgebaute Verständnis für die Abläufe und Prozesse sowie die damit verbundenen Kernpotenziale zu vertiefen, wurden anschließend Experteninterviews durchgeführt. Insgesamt wurden 16 Expert*innen des OEMs mit Vorerfahrung in dem Zusammenspiel von Bedarfen, Zielen und Anforderungen befragt. Hierbei wurde Wert auf eine stark interdisziplinäre Zusammensetzung der Befragten gelegt (u.a. Produktstrategie, Vertrieb, Qualitätssicherung, Produktionsplanung und Produktentwicklung), um möglichst viele Perspektiven des Anforderungsmanagements abzubilden. In 60- bis 75-minütigen semi-strukturierten Einzelinterviews wurden die Expert*innen befragt, wie die im Rahmen der teilnehmenden Beobachtung identifizierten Kernpotenziale beeinflusst werden können. Die Aussagen der Expert*innen wurden analysiert und thematisch gruppiert, da viele Aspekte mehrfach genannt wurden und auf gleiche Kernpotenziale zurückgeführt werden konnten. Diese thematischen Gruppen dienten zur *Ableitung von Einflussfaktoren* für das Zusammenspiel von Bedarfen, Zielen und Anforderungen. (Albers, Kubin et al., vsl. 2025)

Für ein vertieftes Situationsverständnis wurde anschließend ein *Referenzmodell* aufgebaut (Blessing & Chakrabarti, 2009, S. 20). In einem Referenzmodell werden die Knoten (hier: Einflussfaktoren) über gerichtete Verbindungen (Kanten) miteinander verknüpft, um die gegenseitige Einflussnahme darzustellen. Diese Wechselwirkungen wurden im Rahmen der in dieser Forschungsarbeit durchgeföhrten Studie basierend auf den Expertenaussagen abgeleitet.

Ausgehend von dem Referenzmodell und den damit verbundenen Abhängigkeiten wurde eine *Vester'sche Einflussmatrix* verwendet, um quantifizierbare Aussagen zu erhalten und daraus gezielt Maßnahmen zur Berücksichtigung im weiteren Verlauf der Forschungsarbeit ableiten zu können (Vester, 2015). Eine Vester'sche Einflussmatrix spannt alle Einflussfaktoren in einem zweidimensionalen Raum auf und quantifiziert, wie stark jeder einzelne Faktor die anderen Faktoren beeinflusst. Das Maß der Beeinflussung wurde dabei basierend auf der Anzahl der entsprechenden Aussagen in den Experteninterviews abgeleitet. Dadurch kann für jeden Einflussfaktor eine *Aktivsumme* (Beeinflussung anderer Faktoren) und eine *Passivsumme* (Beeinflussung durch andere Faktoren) hergeleitet werden.

Basierend auf der Aktiv- und Passivsumme wurde eine *Kategorisierung der Einflussfaktoren* vorgenommen (Probst, 2013). Hierbei wurde jeder Faktor einer von vier Kategorien zugeordnet:

- *Aktive Faktoren* haben einen großen Einfluss auf viele der anderen Einflussfaktoren, werden selbst jedoch nur geringfügig beeinflusst. Sie sind dementsprechend zur Steuerung der Situation geeignet.
- *Passive Faktoren* werden von vielen anderen Faktoren beeinflusst, nehmen umgekehrt jedoch nur wenig Einfluss. Sie eignen sich als Indikatoren für Veränderungen in der betrachteten Situation.
- *Kritische Faktoren* haben einen großen Einfluss und werden selbst stark beeinflusst. Da jede Veränderung dieser Faktoren das Risiko birgt, unbeabsichtigte Auswirkungen zu provozieren, werden sie als kritisch bezeichnet.
- *Träge Faktoren* haben weder großen Einfluss noch werden sie von anderen Faktoren signifikant beeinflusst und können daher aus strategischer Sicht vernachlässigt werden. Diese Einflussfaktoren stellen dementsprechend lediglich Zwischenpositionen im Referenzmodell dar.

Diese Kategorisierung erfolgt anhand der *P-Zahl*, welche das Produkt aus Aktiv- und Passivsumme eines Einflussfaktors beschreibt. Träge Faktoren stellen dabei die Einflussfaktoren mit einer P-Zahl im Bereich der unteren 5% dar. Basierend auf den daraus resultierenden Grenzwerten für Aktiv- und Passivsumme können die aktiven, passiven und kritischen Faktoren hergeleitet werden.

Studienergebnisse

Die teilnehmende Beobachtung hat gezeigt, dass die Dokumentation der Anforderungen bei dem OEM im Rahmen von Produktspezifikationen erfolgt, welche für jedes System der logischen Systemarchitektur (vgl. Abschnitt 2.3.2) erstellt werden. Die in den Produktspezifikationen dokumentierten Anforderungen

der Systemgeneration G_{n+1} , die im Rahmen der teilnehmenden Beobachtung begleitet wurde, haben hierbei jedoch einen sehr heterogenen Härte- und Reifegrad (vgl. Abschnitt 2.4.1) aufgewiesen. Unterschiedliche Härtegrade der Anforderungen können zu Unsicherheiten führen, die ggf. in zusätzlich erforderlichen Iterationen resultieren. Heterogene Reifegrade können hingegen in einer unklaren Entwicklungsaufgabe und Herausforderungen bei der Verifizierung der Anforderungen münden. Hieraus resultiert das Kernpotenzial der *Effizienz* des Zusammenspiels.

Zu Beginn der Frühen Phase dieser G_{n+1} lag ein initiales Produktprofil (vgl. Abschnitt 2.2.4) vor, welches teilweise direkt als Grundlage für das Spezifizieren von Anforderungen diente. Hieraus ergeben sich zwei wesentliche Herausforderungen. Zum einen werden im initialen Produktprofil lediglich abstrakte Differenzierungsmerkmale und keine Stakeholder-Bedarfe beschrieben. Aus diesem Grund kann es zu Fehlinterpretationen kommen, wenn Anforderungen direkt anhand des initialen Produktprofils spezifiziert werden. Zum anderen deckt das initiale Produktprofil ausschließlich die Kunden- und Anwenderperspektive ab, jedoch nicht die Sicht des Anbieters. Dementsprechend ergibt sich das Kernpotenzial der *Qualität der Inhalte*.

Aufgrund der daraus resultierenden, teilweise unklaren Bedarfssituation haben sich zudem Herausforderungen bei der Validierung von Anforderungen gegenüber den Bedarfen ergeben. Infolgedessen wurden im Rahmen der betrachteten Systemgeneration zum Teil Anforderungen als reine Übernahmevariation (vgl. Abschnitt 2.2.2) von Referenzsystemelementen übernommen, ohne dass eine Validierung gegenüber den Stakeholder-Bedarfen erfolgt ist. Aus diesem Grund stellt auch die bewusste *Nutzung von Referenzen* ein Kernpotenzial dar.

Darüber hinaus wurde ein Kernpotenzial in der *Standardisierung*, d.h. der nachvollziehbaren Dokumentation der Überführung von Bedarfen in Ziele und Anforderungen identifiziert.

Teilweise war es im Status Quo der teilnehmenden Beobachtung nicht explizit möglich, für eine Anforderung in der Produktspezifikation den antizipierten Nutzen zurückzuverfolgen. Dies hat unter anderem auch dazu geführt, dass die Entscheidungslage nicht für alle Projektbeteiligten transparent ersichtlich war, und eine Priorisierung bei Zielkonflikten erschwert wurde. Hieraus ergibt sich das Kernpotenzial der *Effektivität* im Zusammenspiel von Bedarfen, Zielen und Anforderungen.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass die Prozesse bei dem Zusammenspiel von Bedarfen, Zielen und Anforderungen in der G_{n+1} nicht durchgehend

systematisch verfolgt wurden. Dies ist insbesondere auf das Kernpotenzial der *Qualität des Prozesses* zurückzuführen, da diese Prozesse teilweise nicht einheitlich definiert sind.

Gleichzeitig existiert keine ausreichende methodische Unterstützung, welche die Produktentwickelnden bei der Umsetzung der Prozesse anleitet und die Aufgaben eindeutig beschreibt. Hieraus resultiert das Kernpotenzial der *Menschzentrierung*. (Albers, Kubin et al., vsl. 2025)

Die identifizierten sieben Kernpotenziale (Effizienz, Qualität der Inhalte, Nutzung von Referenzen, Standardisierung, Effektivität, Qualität des Prozesses, Menschzentrierung) bilden die Grundlage für die Experteninterviews anhand derer 30 Einflussfaktoren abgeleitet wurden und ein Referenzmodell aufgebaut werden konnte (vgl. Abbildung 4.6).

Die vorab identifizierten initialen Schlüsselfaktoren (vgl. Kapitel 4) der Herausforderung 2 (S4-S7) lassen sich in den Einflussfaktoren wiederfinden und werden demzufolge durch diese konkretisiert.

- Der initiale Schlüsselfaktor *flexible Anwendbarkeit und Anpassungsmöglichkeit* (S4) wird konkretisiert durch die Einflussfaktoren 1, 2, 4 und 5.
- Der initiale Schlüsselfaktor *transparente und statusabhängige Vorgehensweisen zur Berücksichtigung von Änderungsbegehren über den gesamten Produktentstehungsprozess* (S5) wird konkretisiert durch die Einflussfaktoren 3, 15, 17, 22, 23 und 28.
- Der initiale Schlüsselfaktor *transparente und statusabhängige Vorgehensweisen zur Überführung von Bedarfen in Ziele und Anforderungen* (S6) wird konkretisiert durch die Einflussfaktoren 15, 16, 17, 18, 19, 22, 23, 28, 29 und 30.
- Der initiale Schlüsselfaktor *Adaptionsmöglichkeiten an unterschiedliche Bedarfsqualitäten* (S7) wird konkretisiert durch die Einflussfaktoren 13 und 16.

Basierend auf der Einordnung der Einflussfaktoren in einer Vester'schen Einflussmatrix und der daraus resultierenden Aktiv- und Passivsumme wurden die Faktoren in einem kartesischen Koordinatensystem aufgetragen, um die Kategorisierung vorzunehmen. Hierzu konnten, ausgehend von den trägen Faktoren, welche auf Basis der errechneten P-Zahlen abgeleitet wurden, die Grenzlinien bei einer Aktivsumme von sieben und einer Passivsumme von sieben hergeleitet werden. Somit ergeben sich, wie in Abbildung 4.7 dargestellt, jeweils sechs kritische, aktive und passive Faktoren sowie insgesamt 12 träge Faktoren.

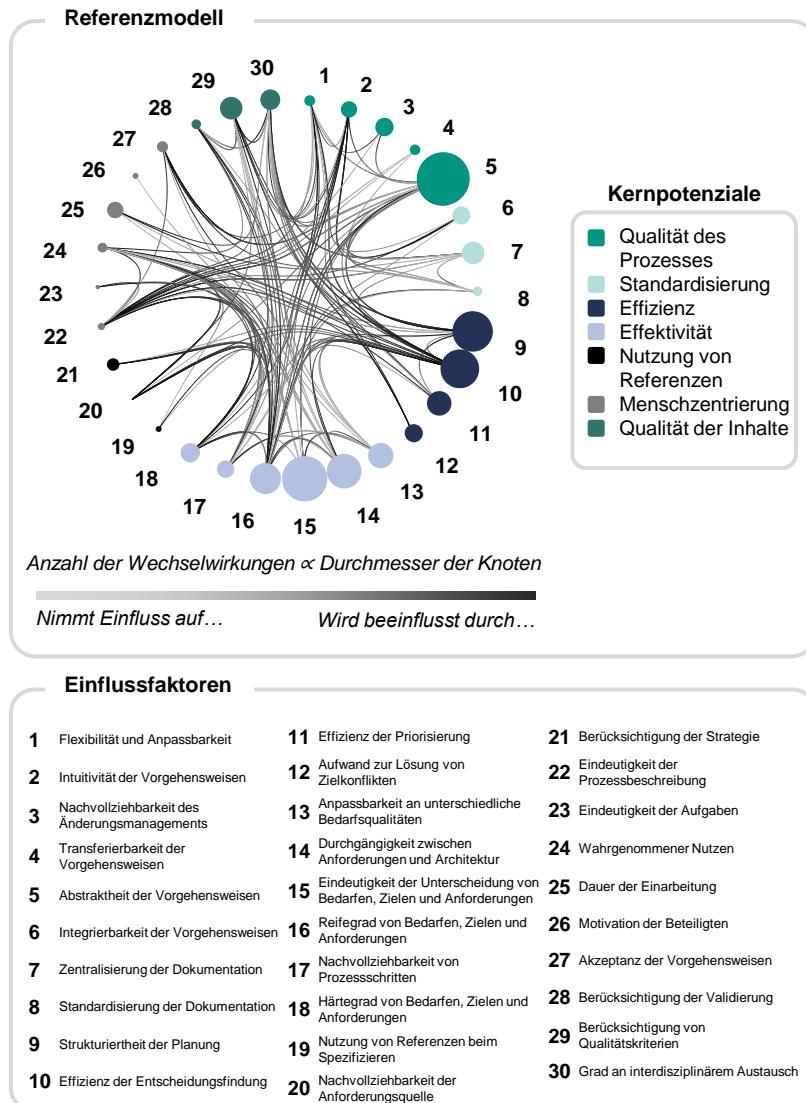
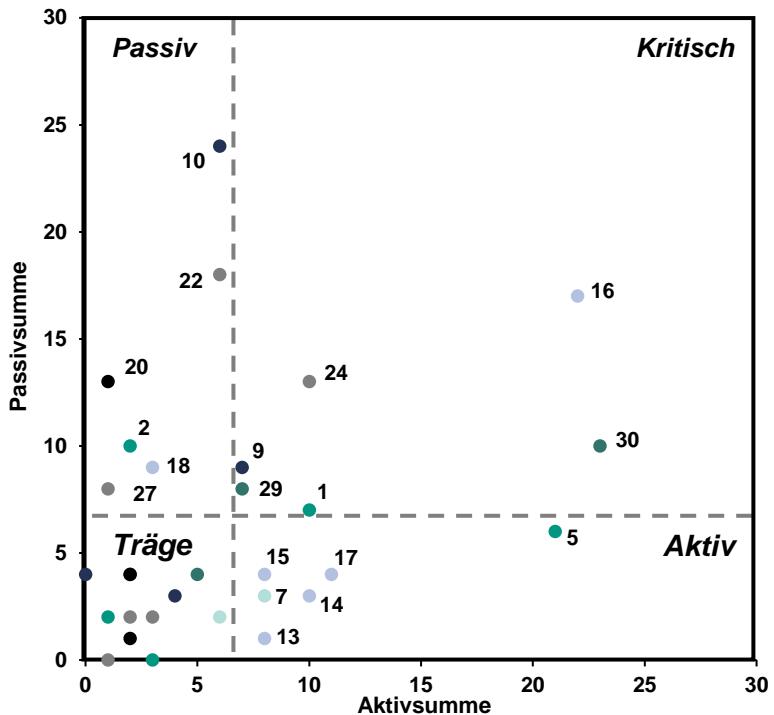


Abbildung 4.6: Referenzmodell mit Einflussfaktoren für das Zusammenspiel von Bedarfen, Zielen und Anforderungen nach Albers und Kubin et al. (vsl. 2025)



Aktive Faktoren	Passive Faktoren	Kritische Faktoren
13 Anpassbarkeit an unterschiedliche Bedarfsqualitäten	27 Akzeptanz der Vorgehensweisen	30 Grad an interdisziplinärem Austausch
5 Abstraktheit der Vorgehensweisen	20 Nachvollziehbarkeit der Anforderungsquelle	1 Flexibilität und Anpassbarkeit
14 Durchgängigkeit zwischen Anforderungen und Architektur	2 Intuitivität der Vorgehensweisen	16 Reifegrad von Bedarfen, Zielen und Anforderungen
17 Nachvollziehbarkeit von Prozessschritten	18 Härtegrad von Bedarfen, Zielen und Anforderungen	29 Berücksichtigung von Qualitätskriterien
7 Zentralisierung der Dokumentation	22 Eindeutigkeit der Prozessbeschreibung	9 Strukturiertheit der Planung
15 Eindeutigkeit der Unterscheidung von Bedarfen, Zielen und Anforderungen	10 Effizienz der Entscheidungsfindung	24 Wahrnehmter Nutzen

Abbildung 4.7: Kategorisierung der Einflussfaktoren für das Zusammenspiel von Bedarfen, Zielen und Anforderungen nach Albers et al. (vsl. 2023)

Die Aktiven Faktoren müssen dabei im Rahmen der Unterstützungs faktoren in der Präskriptiven Studie berücksichtigt werden, da sie den Status Quo maßgeblich beeinflussen können. Die Wirkung der im Rahmen der Präskriptiven Studie zu entwickelnden Systematik kann anschließend in der Deskriptiven Studie II anhand der kritischen und passiven Faktoren gemessen werden. Aufgrund der potenziell unerwünschten Auswirkungen werden die kritischen Faktoren dabei nicht explizit in der Präskriptiven Studie berücksichtigt.

Um die passiven und kritischen Faktoren in Vorbereitung auf die Evaluation in Erfolgs- und Anwendbarkeitsfaktoren (vgl. Abschnitt 3.4) zu unterteilen, wurden die sechs *Akzeptanzdimensionen* zur Beurteilung von Methoden nach Albers, Lohmeyer und Radimersky (2012) herangezogen. Hierbei wurde jeder passive oder kritische Faktor, der sich einer der Akzeptanzdimensionen zuordnen ließ, als Anwendbarkeitsfaktor klassifiziert.

Das Ergebnis dieser Zuordnung ist in Tabelle 4 abgebildet. Der Akzeptanzdimension „Wiederverwendbar und erweiterbar“ konnte dabei kein Einflussfaktor zugeordnet werden, weswegen diese Akzeptanzdimension nicht im Rahmen der Evaluation berücksichtigt wird. Die sieben Einflussfaktoren, die sich nicht zuordnen ließen, werden als Erfolgsfaktoren herangezogen.

Tabelle 4: Zuordnung der Einflussfaktoren zu den Akzeptanzdimensionen nach Albers, Lohmeyer und Radimersky (2012)

Akzeptanzdimension (Albers et al., 2012)	Einflussfaktor
Intuitiv handhabbar	Intuitivität der Vorgehensweisen (2)
Lehr- und Lernbar	Eindeutigkeit der Prozessbeschreibung (22)
Flexibel und anpassbar	Flexibilität und Anpassbarkeit (1)
Aufwand-Nutzen-Verhältnis	Akzeptanz der Vorgehensweisen (27)
Wahrgenommene Leistungsfähigkeit	Wahrgenommener Nutzen (24)
Wiederverwendbar und erweiterbar	-

4.3 Analyse von Einfluss- und Kontingenzfaktoren bei der Wiederverwendung von Zielen und Anforderungen auf Basis von Bedarfen in Literatur und Praxis

Im Rahmen der vierten Studie der DS-I wird die Herausforderung der *Systems-Engineering-basierten Wiederverwendung von Zielen und Anforderungen auf Basis von Bedarfen* beleuchtet. Dabei soll Forschungsfrage 3.I (vgl. Abschnitt 3.2) beantwortet werden:

FF3.I Welche Faktoren beeinflussen die Wiederverwendung von Zielen und Anforderungen auf Basis von Bedarfen in der Automobilentwicklung und welche potenziellen Fehler können hierbei auftreten?

Zur Beantwortung der Forschungsfrage wurden eine teilnehmende Beobachtung im Anforderungsmanagement eines OEMs sowie eine systematische Literaturrecherche im englischsprachigen Raum ohne zeitliche Limitierung durchgeführt. Ziel war es, potenzielle Fehler (Kontingenzfaktoren) bei der Wiederverwendung zu untersuchen und anschließend Einflussfaktoren für die Wiederverwendung von Zielen und Anforderungen auf Basis von Bedarfen zu identifizieren. Die in diesem Abschnitt ausgeführten Analysen wurden in der Publikation Albers, Kubin, Eckhardt, Rapp und Kempf (2022) veröffentlicht. Die Untersuchungen wurden teilweise im Rahmen der vom Autor Co-betreuten studentischen Abschlussarbeit von Eckhardt (2021)¹ durchgeführt.

Studiendesign und -vorgehen

Zur Analyse von Einfluss- und Kontingenzfaktoren bei der Wiederverwendung von Zielen und Anforderungen auf Basis von Bedarfen wurde das in Abbildung 4.8 dargestellte dreistufige Vorgehen verfolgt, wobei die systematische Literaturrecherche im dritten Schritt auf dem von Xiao und Watson (2017) beschriebenen Vorgehen basiert (vgl. Abbildung 4.3).

¹ Unveröffentlichte, vom Autor Co-betreute Masterarbeit



Abbildung 4.8: Vorgehen im Zuge der Analyse von Kontingenz- und Einflussfaktoren

Im Rahmen einer zwölfmonatigen teilnehmenden Beobachtung im Anforderungsmanagement eines Automobilherstellers wurde der vorherrschende *Status Quo* bei der Wiederverwendung von Zielen und Anforderungen analysiert. Hierbei wurde derjenige Teil der Frühen Phase einer neuen Systemgeneration begleitet, der den Schwerpunkt der Wiederverwendungsaktivitäten im Entwicklungsprozess darstellt. Ziel war es, ein vertieftes Verständnis für das Vorgehen des OEMs bei der Wiederverwendung von Zielen und Anforderungen aufzubauen und die Zusammensetzung des zugrundeliegenden Referenzsystems zu durchdringen. Darauf aufbauend konnten Kontingenzfaktoren (i.S.v. potenziellen Fehlern bei der Wiederverwendung von Zielen und Anforderungen) abgeleitet werden. (Albers, Kubin et al., 2022)

Zur Identifikation von Einflussfaktoren für die Wiederverwendung von Zielen und Anforderungen auf Basis von Bedarfen wurde anschließend eine systematische Literaturrecherche durchgeführt (Xiao & Watson, 2017).

Ausgehend von dem definierten Ziel wurde im Rahmen der *Festlegung der Suchstrategie* die Datenbank Scopus ausgewählt. Nach Sichtung des englischsprachigen Stands der Forschung wurde der Begriff „reuse“ als treffendes Schlüsselwort für die Wiederverwendung identifiziert und durch das Keyword-Refinement bestätigt (Franch, Palomares & Quer, 2020; Goldin & Berry, 2015; Lam, 1998; Orawski et al., 2013). Synonyme und ähnliche Begriffe wie "recycling" und "reengineering" konnten dabei ausgeschlossen werden. Infolgedessen wurde für die systematische Literaturrecherche ein englischsprachiger Suchstring gewählt, der die Suche lediglich auf „Wiederverwendung“ und „Anforderungen“ einschränkt.

Darüber hinaus wurde keine Limitation hinsichtlich des Zeitpunkts der Veröffentlichung vorgenommen, um ein möglichst weitreichendes Spektrum an potenziell relevanter Literatur zu erschließen:

„Requirements“ AND „Reuse“

Die Literaturrecherche wurde dabei bewusst auf die Titel der Dokumente beschränkt, um gezielt Beiträge zu identifizieren die die Wiederverwendung von Anforderungen explizit beschreiben.

Die *Suche in der Literatur*² lieferte 203 Ergebnisse. Eine Übersicht über die anschließende *Überprüfung zur Aufnahme* im Rahmen des Screenings ist in Abbildung 4.9 dargestellt.

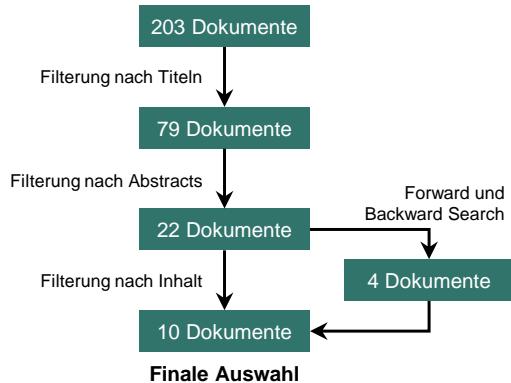


Abbildung 4.9: Ergebnisse des Screenings

Hierbei wurden zur *Bewertung der Qualität* die folgenden Kriterien festgelegt:

- Anforderungen als explizites Element der Wiederverwendung
- Identifikation von Erfolgsfaktoren und Herausforderungen bei der Anwendung der Wiederverwendung
- Darstellung einer Systematik für die Wiederverwendung
- Definition von Hinweisen für die Ausgestaltung einer Systematik
- Optional: Systemorientierter Anwendungsrahmen

Ausgehend von einer titelbasierten Filterung wurde der Datensatz auf 79 Dokumente eingegrenzt. Durch die anschließende, auf den Abstracts basierende, Bewertung erwiesen sich 22 Beiträge als relevant in Bezug auf das Ziel der SLR. Bei diesen Dokumenten wurde der Volltext gesichtet, mit der Folge, dass der Datensatz auf sechs Referenzen eingeschränkt werden konnte. Für diese verbleibenden Dokumente wurde eine Vorwärts- und Rückwärtssuche durchgeführt, aus der vier zusätzliche Beiträge resultierten. Infolgedessen ergaben sich 10

² Stand: 29. Juni 2021

relevante Beiträge für die Identifikation von Einflussfaktoren bei der Wiederverwendung von Zielen und Anforderungen auf Basis von Bedarfen. (Albers, Kubin et al., 2022)

Studienergebnisse

Die Anforderungen der Systemgeneration G_{n+1} , die im Rahmen der teilnehmenden Beobachtung begleitet wurde, wurden zu einem großen Teil aus Referenzsystemelementen (vgl. Abschnitt 2.2.3) übernommen. Als Referenzen haben hierbei neben den Anforderungen aus den Produktspezifikationen der Vorgängergeneration insbesondere themenspezifische Anforderungskataloge, sogenannte *Anforderungsbündel*, gedient.

Diese Anforderungsbündel umfassen Fahrzeugprojekt-übergreifende Themenbereiche, wie z.B. die Transportierbarkeit der Fahrzeuge oder den Wasserschutz, denen Ziele und ein Bedarf zugrunde liegen. In der Regel waren die wiederzuverwendenden Anforderungen anhand der logischen Systemarchitektur (vgl. Abschnitt 2.3.2) strukturiert, da diese bei dem Automobilhersteller (bis auf geringe Anpassungen) über die Projekte hinweg konstant bleibt und sich daher als projektübergreifende Grundstruktur eignet. Es wurden jedoch ebenfalls Referenzsystemelemente herangezogen, die einer anderen Struktur folgten.

Zur Wiederverwendung von Anforderungen in der G_{n+1} wurde ein Copy-and-Paste-Vorgehen (vgl. Abschnitt 2.4.3) genutzt. Hierbei wurden teilweise nur einzelne Anforderungen betrachtet, sodass bei der Übernahme Wechselwirkungen mit dem bestehenden Systemkonzept (vgl. Abschnitt 2.4.1) nicht explizit betrachtet wurden. Darüber hinaus kam es bei der Wiederverwendung vor, dass der Abgleich mit den Zielen und Bedarfen der G_{n+1} nicht transparent vollzogen wurde.

Zusammenfassend ist im Rahmen der teilnehmenden Beobachtung festzustellen, dass der Anforderungskontext nicht immer vollumfänglich berücksichtigt wurde. Der beobachtete Status Quo wird in Abbildung 4.10 schematisch dargestellt. (Albers, Kubin et al., 2022)

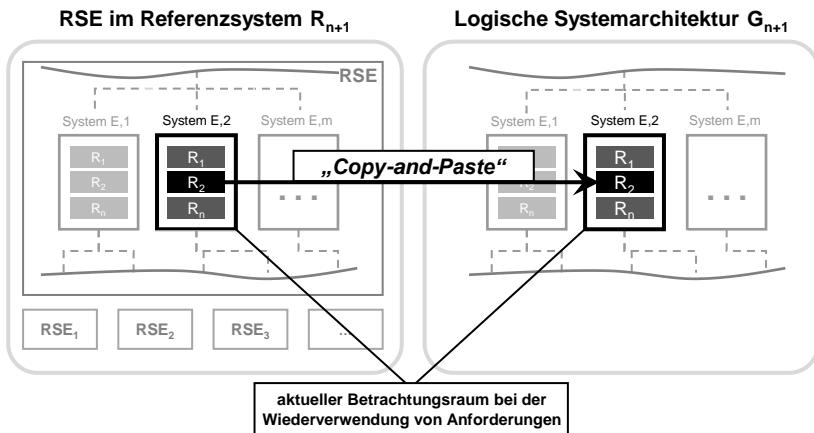


Abbildung 4.10: Vorgehen zur Wiederverwendung von Anforderungen im Status Quo – Darstellung nach Eckhardt (2021, S. 58)³

Basierend auf der teilnehmenden Beobachtung wurden vier *Kontingenzfaktoren* (KF) abgeleitet, die potenzielle Fehler bei der Wiederverwendung von Zielen und Anforderungen beschreiben und auf eine unzureichende Berücksichtigung des Anforderungskontextes zurückgeführt werden können:

- **Kontingenzfaktor A („Bedarfssituation“):** Stakeholder-Bedarfe können sich bspw. bedingt durch Marktdynamiken oder die Wettbewerbssituation verändern. Neue Bedarfe können auftreten, bestehende Bedarfe können sich verändern oder sogar obsolet werden. Eine Nichtbeachtung der Bedarfssituation und damit verbundenen möglichen Änderungen zwischen Systemgenerationen kann bei der Wiederverwendung von Zielen und Anforderungen daher dazu führen, dass an den Bedarfen und damit am Markt vorbei entwickelt wird. *Beispiel: die wiederzuverwendende Anforderung zur „ausreichenden Isolation von elektrischen Komponenten für einen Flugtransport“ ist aufgrund einer geänderten Bedarfssituation in der G_{n+1} obsolet, da aufgrund eines zunehmenden Bewusstseins für Nachhaltigkeit lediglich CO₂-neutrale Transportmittel verwendet werden sollen.*
- **Kontingenzfaktor B („Systemzuordnung“):** Jede Anforderung wird einem (Sub-)System der logischen Systemarchitektur zugeordnet. Hierbei

³ Unveröffentlichte, vom Autor Co-betreute Masterarbeit

können sich jedoch die Inhalte eines (Sub-)Systems zwischen Systemgenerationen verändern, z.B. aufgrund geänderten architektonischen Lösungsprinzipien oder angepassten Verantwortlichkeiten. Die Nichtbeachtung solcher geänderten Inhalte der (Sub-)Systeme kann bei der Wiederverwendung dazu führen, dass Anforderungen unerkannt bleiben und folglich nicht in dem Systemkonzept berücksichtigt werden. *Beispiel: die wiederzuverwendende Anforderung zur „Einleitung einer Notbremsung bei Kollisionsgefahr“ ist aufgrund von geänderten Systemgrenzen und damit verbundenen Verantwortlichkeiten nicht mehr dem Fahrsystem zuzuordnen. Stattdessen muss sie in der G_{n+1} dem Assistenzsystem auf der gleichen logischen Systemebene zugewiesen werden.*

- **Kontingenzfaktor C („Anforderungswirkketten“):** Anforderungen, die in Subsystemen wiederverwendet werden sollen, müssen sich auf eine Anforderung des übergeordneten Systems rückverfolgen lassen (i.S.v. Traceability). Ohne die Berücksichtigung dieser Parent-Child-Beziehungen ist der Einfluss der Anforderung auf die umliegenden Systeme nicht explizit ersichtlich. Dies kann in Zielkonflikten resultieren, die womöglich erst spät im Produktentstehungsprozess transparent werden und zu kostenintensiven Änderungsschleifen führen können. *Beispiel: die wiederzuverwendende Anforderung zum „Abstand von mindestens x mm zwischen Sitz und Mittelkonsole“ muss mit der G_{n+1}-spezifischen Anforderung des übergeordneten Systems zur „Innenraumbreite von y mm“ in Beziehung gesetzt werden. Andernfalls könnte eine Änderung der Innenraumbreite zu einem Zielkonflikt führen, da der geforderte Abstand zwischen Sitz und Mittelkonsole womöglich nicht mehr gewährleistet werden kann.*
- **Kontingenzfaktor D („Systemkonzept“):** Zur Realisierung eines technisch konsistenten Systemkonzepts des Gesamtsystems muss die Konsistenz der Subsysteme durchgängig sichergestellt werden. Bestehende Anforderungen und Architekturen resultieren in komplexen Abhängigkeiten sowohl innerhalb eines (Sub-)Systems als auch im Zusammenspiel mit umliegenden (Sub-)Systemen. Eine unzureichende Berücksichtigung der technischen Konsistenz mit dem bestehenden Systemkonzept kann bei der Wiederverwendung von Anforderungen zu Zielkonflikten und damit potenziell zu kostenintensiven Änderungsschleifen führen. *Beispiel: die wiederzuverwendende Anforderung zur „Ermöglichung einer Verzurrung an den Rädern für den Transport“ steht in der G_{n+1} im Konflikt mit dem bestehenden Systemkonzept, welches aerodynamisch optimierte Felgen ohne Speichenzwischenräume vorsieht.*

Im Rahmen der systematischen Literaturrecherche wurden, basierend auf der Extraktion der Daten und der anschließenden Analyse und Synthese, Einflussfaktoren für die Wiederverwendung von Zielen und Anforderungen auf Basis von Bedarfen identifiziert. Hierbei konnten zum einen die initialen Schlüsselfaktoren

(vgl. Kapitel 4) der Herausforderung 3 (S8-S11) bestätigt und konkretisiert werden (unterstützende Erkenntnisse) und zum anderen weitere Einflussfaktoren identifiziert werden (ergänzende Erkenntnisse). Diese unterstützenden und ergänzenden Ergebnisse sind in Tabelle 5 zusammengefasst.

Tabelle 5: Einflussfaktoren für die Wiederverwendung von Zielen und Anforderungen auf Basis von Bedarfen nach (Albers, Kubin et al., 2022)

Referenzen	Ergänzend			Unterstützend			
	Prüfung der Qualität des RSE	Berücksichtigung des Umfangs des RSE	Abstraktion von Anforderungen	Initiale Plausibilisierung (S8)	Ausrichtung an Systemebenen (S9)	Berücksichtigung der Wirkkeiten (S10)	Konsistenz zu Systemkonzept (S11)
Alexander und Kiedaisch (2002)	○	○	○	○	○	○	●
Goldin und Berry (2015)	○	○	○	○	●	○	●
Irshad et al. (2018)	●	○	○	○	○	○	○
Orawski et al. (2013)	●	○	○	●	○	○	○
Pacheco et al. (2015)	●	●	○	●	○	○	○
Palomares et al. (2014)	●	○	○	●	○	○	○
Palomares et al. (2017)	○	●	●	○	○	○	○
Panis (2015)	●	○	●	○	●	○	●
Toval et al. (2002)	●	○	○	○	○	○	●
Toval et al. (2008)	●	●	○	○	○	●	○

● Charakteristika werden erwähnt
 ○ Charakteristika werden nicht erwähnt

Eine ergänzende Erkenntnis aus der systematischen Literaturanalyse ist die *Qualität des RSE*, welche vor der Wiederverwendung von Zielen und Anforderungen zu berücksichtigen ist. Hierbei muss insbesondere die Qualität der wiederzuverwendenden Ziele und Anforderungen überprüft werden, um eine Fehlerfortpflanzung zwischen Systemgenerationen und eine daraus resultierende Effizienzminderung der Wiederverwendung zu vermeiden (Palomares, Quer & Franch, 2014). Pacheco, Garcia, Calvo-Manzano und Arcilla (2015) beschreiben, dass hierzu eine Prüfung der Ziele und Anforderungen im Hinblick auf die definierten Qualitätskriterien (vgl. Abschnitt 2.4.1) erfolgen sollte. Neben der Qualität der einzelnen Ziele und Anforderungen wird auch die Strukturierung des RSE als entscheidendes Qualitätsmerkmal hervorgehoben, insbesondere bei der Wiederverwendung von Anforderungsbündeln (Irshad et al., 2018; Toval, Moros Valle, Nicolás Ros & Lasheras, 2008). Dazu gehört unter anderem die *Attribuierung* von Anforderungen durch Schlüsselwörter, Quellen oder Projektzuordnungen (Orawska et al., 2013; Pacheco et al., 2015). Zudem muss der antizipierte Nutzen des Anforderungsbündels in Form eines zugrundeliegenden Bedarfs beschrieben und ersichtlich sein (Orawska et al., 2013; Panis, 2015). Insgesamt wird durch die Berücksichtigung der Qualität des RSE die Schnittstelle zwischen Engineering for Reuse (EFR) und Engineering with Reuse (EWR) Ansätzen (vgl. Abschnitt 2.4.3) hervorgehoben. Durch einen EWR-Ansatz kann die Wiederverwendung nur zielführend umgesetzt werden, wenn das RSE als Eingangsvariable eine ausreichende Qualität vorweist. Die Qualität des RSE hängt dabei von der strategischen und operativen Umsetzung des EFR-Ansatzes ab.

Darüber hinaus ist die *Berücksichtigung des Umfangs des RSE* als ergänzende Erkenntnis aus der systematischen Literaturrecherche hervorgegangen. Der Umfang eines RSE kann sich von einer einzelnen Anforderung bis hin zu einem Anforderungsbündel und allen dazugehörigen Entwicklungsartefakten gestalten. Dieser muss im Rahmen eines EWR-Ansatzes dementsprechend als Eingangsvariable betrachtet werden, da der Ansatz in Abhängigkeit des Umfangs möglicherweise anders angewendet werden muss (Pacheco et al., 2015; Palomares et al., 2014, 2017; Toval et al., 2008). Beispielsweise ist nach Toval et al. (2008) die vollständige Wiederverwendung von umfangreichen Anforderungsbündeln besonders riskant, da in der Regel nur Teilmengen der Anforderungen für ein spezifisches Projekt relevant sind.

Die *Abstraktion von Anforderungen* im Rahmen der Wiederverwendung stellt eine weitere ergänzende Erkenntnis dar. Abstrahierte Anforderungen können leichter wiederverwendet werden, weil sie eine geringere Lösungsspezifität aufweisen (Palomares et al., 2017). Panis (2015) betont jedoch, dass in der Produktentwicklungspraxis typischerweise Anforderungen niedrigerer

Systemebenen mit entsprechend hoher Lösungsspezifität wiederverwendet werden. Durch eine Abstraktion dieser Anforderungen könnte das enthaltene Wissen verloren gehen, wodurch sich das Effizienzpotenzial der Wiederverwendung verringern würde. Dennoch kann sich eine projektspezifische Abstraktion als Lösungsansatz bei im Rahmen der Wiederverwendung auftretenden Zielkonflikten erweisen. Hierbei ermöglicht die daraus resultierende geringere Lösungsspezifität eine individuelle Architekturlösung für das Projekt, die zur Lösung des Zielkonflikts beitragen kann.

Die bereits im Rahmen der initialen Schlüsselfaktoren (vgl. Kapitel 4) beschriebene *initiale Plausibilisierung* (S8) bei der Wiederverwendung wird als unterstützende Erkenntnis aus der systematischen Literaturrecherche als relevant bestätigt. Es wird betont, dass bei der Wiederverwendung von Anforderungen die Wechselwirkungen zu bestehenden Zielen und Bedarfen betrachtet werden müssen, um den projektspezifischen Anforderungskontext ausreichend zu berücksichtigen (Orawski et al., 2013; Pacheco et al., 2015; Palomares et al., 2017). Insbesondere bei Anforderungen mit einer hohen Lösungsspezifität ist der zugrundeliegende Bedarf in der Produktentwicklungspraxis jedoch häufig nicht transparent ersichtlich (Orawski et al., 2013).

Eine weitere unterstützende Erkenntnis bezieht sich auf die *Ausrichtung an Systemebenen* (S9). Eine hierarchische Strukturierung von Anforderungen gemäß der logischen Systemarchitektur ermöglicht eine gezielte Wiederverwendung für einzelne Subsysteme und begünstigt damit die Anwendung von Systems Engineering (Goldin & Berry, 2015). Panis (2015) betont jedoch auch, dass bei einer Ausrichtung an logischen Systemebenen zwingend die Konsistenz zwischen allen Ebenen sichergestellt werden muss.

Toval et al. (2008) unterstützen die Erkenntnis der *Berücksichtigung der Wirkketten* (S10) wiederzuverwendender Anforderungen, da durch die Betrachtung von Parent-Child-Beziehungen zusätzliche Freiheitsgrade bei der Wiederverwendung erschlossen werden können. Child-Anforderungen auf tiefen Systemebenen weisen häufig eine hohe Lösungsspezifität auf, wodurch eine Wiederverwendung in einem anderen Anforderungskontext erschwert wird. In diesen Fällen kann durch die Wiederverwendung der verknüpften Parent-Anforderung im Sinne einer Abstraktion der Anforderung ein effizienteres Vorgehen realisiert werden.

Die Berücksichtigung der *Konsistenz zum Systemkonzept* (S11) geht ebenfalls als unterstützende Erkenntnis aus der systematischen Literaturrecherche hervor. Insbesondere Wechselwirkungen zwischen einzelnen Anforderungen müssen

berücksichtigt werden, um Inkonsistenzen und damit einhergehende Zielkonflikte aufzudecken (Alexander & Kiedaisch, 2002; Goldin & Berry, 2015; Panis, 2015).

Die identifizierten Einflussfaktoren (ergänzende und unterstützende Erkenntnisse) für die Wiederverwendung von Zielen und Anforderungen auf Basis von Bedarfen müssen im Rahmen der Unterstützungs faktoren in der Präskriptiven Studie berücksichtigt werden, um durch die zu entwickelnde Systematik ein Auftreten der Kontingenzfaktoren zu vermeiden.

4.4 Ableitung von Unterstützungs faktoren

In diesem Abschnitt werden die Studienergebnisse der Deskriktiven Studie I in Form von Unterstützungs faktoren verdichtet, welche im Rahmen der Präskriptiven Studie zu berücksichtigen sind.

Basierend auf den drei Herausforderungen von Automobilherstellern beim Spezifizieren von Zielen und Anforderungen anhand von Bedarfen wurden in der ersten Studie der DS-I (vgl. Kapitel 4) mittels einer zweistufigen Delphi-Studie initiale Schlüsselfaktoren inkl. einer Relevanzbewertung identifiziert. Die anschließenden Studien haben jeweils eine der drei Herausforderungen vertieft. In Abschnitt 4.1 konnten durch eine systematische Literaturrecherche Charakteristika zur Definition und Formulierung von Stakeholder-Bedarfen in der Systems-Engineering-Literatur ermittelt werden. In der dritten Studie der DS-I (vgl. Abschnitt 4.2) wurden über eine teilnehmende Beobachtung im Anforderungsmanagement eines OEMs und anschließende Experteninterviews Einflussfaktoren für das Zusammenspiel von Bedarfen, Zielen und Anforderungen identifiziert. Hierbei wurden insbesondere aktive Faktoren zur Berücksichtigung in der Präskriptiven Studie abgeleitet. Im Zuge der vierten Studie (vgl. Abschnitt 4.3) wurden zunächst im Rahmen einer teilnehmenden Beobachtung Kontingenzfaktoren (i.S.v. potenziellen Fehlern) bei der Wiederverwendung von Zielen und Anforderungen auf Basis von Bedarfen beschrieben. Darauf aufbauend wurden durch eine systematische Literaturrecherche Einflussfaktoren identifiziert, die im Rahmen der Präskriptiven Studie berücksichtigt werden müssen, um ein Auftreten der Kontingenzfaktoren zu vermeiden.

Basierend auf den Ergebnissen der vier Studien wurden Unterstützungs faktoren abgeleitet, die bei der Ausgestaltung einer prozessualen und methodischen Unterstützung des Systems-Engineering-basierten Spezifizierens von Zielen und Anforderungen anhand von Bedarfen zu berücksichtigen sind. Diese

Unterstützungsfaktoren wurden anhand der drei Forschungshypothesen strukturiert und bilden damit die Grundlage für die Präskriptive Studie (vgl. Abbildung 4.11).

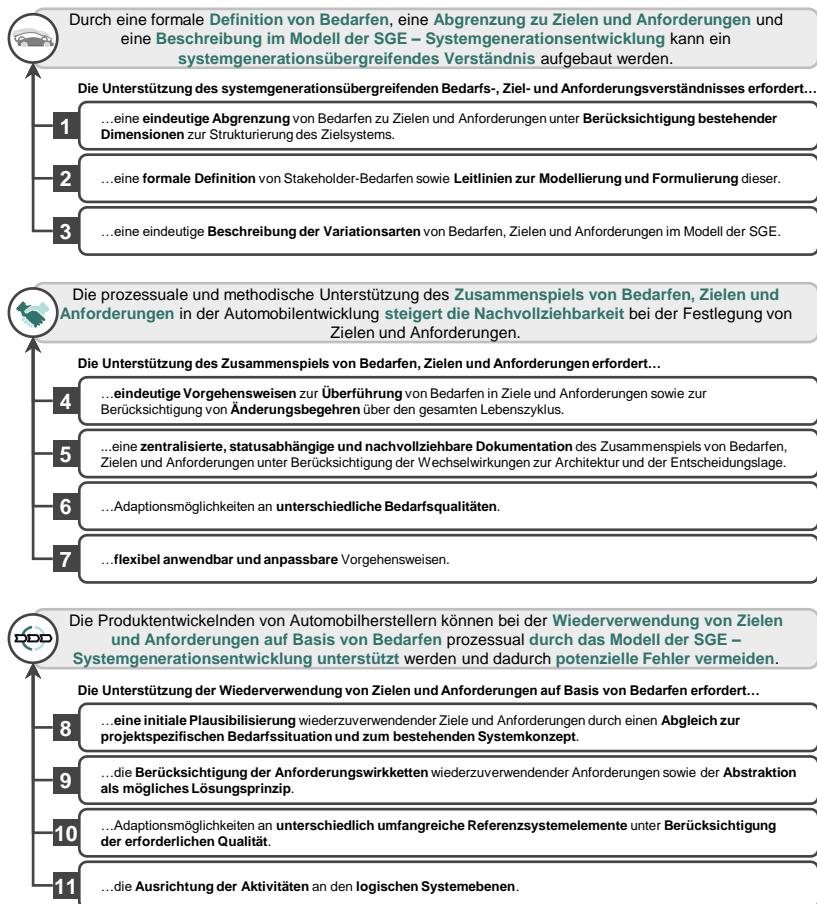


Abbildung 4.11: Unterstützungsfaktoren zur Berücksichtigung im Rahmen der Präskriptiven Studie

In Bezug auf die *erste Forschungshypothese* (vgl. Abschnitt 3.2) und die damit verbundene Herausforderung des systemgenerationsübergreifenden Bedarfs-, Ziel- und Anforderungsverständnisses zeigen die Studien der DS-I, dass eine eindeutige Abgrenzung von Bedarfen zu Zielen und Anforderungen unter Berücksichtigung

bestehender Dimensionen zur Strukturierung des Zielsystems beschrieben werden muss (vgl. Tabelle 1, initiale Schlüsselfaktoren S1 und S3) [1]. Zudem sind eine formale Definition von Stakeholder-Bedarfen sowie Leitlinien zur Modellierung und Formulierung zu synthetisieren (vgl. Tabelle 3) [2]. Darauf aufbauend müssen die Variationsarten von Bedarfen, Zielen und Anforderungen im Modell der SGE beschrieben werden (vgl. Tabelle 1, initialer Schlüsselfaktor S2) [3].

Vor dem Hintergrund der *zweiten Forschungshypothese* und der Herausforderung des Zusammenspiels von Bedarfen, Zielen und Anforderungen müssen eindeutige und statusabhängige Vorgehensweisen zur Überführung von Bedarfen in Ziele und Anforderungen sowie zur Berücksichtigung von Änderungsbegehrungen über den gesamten Lebenszyklus bereitgestellt werden (vgl. Tabelle 1, initiale Schlüsselfaktoren S5 und S6 und Abbildung 4.7, aktive Faktoren 5, 15, 17) [4]. Darüber hinaus ist eine zentralisierte und nachvollziehbare Dokumentation des Zusammenspiels von Bedarfen, Zielen und Anforderungen unter Berücksichtigung der Wechselwirkungen zur Architektur und der Entscheidungslage erforderlich (vgl. Abbildung 4.7, aktive Faktoren 7, 14) [5]. Adoptionsmöglichkeiten an unterschiedliche Bedarfsqualitäten (vgl. Tabelle 1, initialer Schlüsselfaktor S7 und Abbildung 4.7, aktiver Faktor 13) [6] sind dabei wesentlich, um flexibel anwendbare und anpassbare Vorgehensweisen zu realisieren (vgl. Tabelle 1, initialer Schlüsselfaktor S4) [7].

Die Herausforderung der Wiederverwendung von Zielen und Anforderungen auf Basis von Bedarfen und die damit verbundene *dritte Forschungshypothese* erfordert eine initiale Plausibilisierung wiederzuverwendender Ziele und Anforderungen durch einen Abgleich zur projektspezifischen Bedarfssituation und zum bestehenden Systemkontext (vgl. Tabelle 1, initiale Schlüsselfaktoren S8 und S11 und Tabelle 5) [8]. Des Weiteren sind die Anforderungswirkketten wiederzuverwendender Anforderungen sowie die Abstraktion als mögliches Lösungsprinzip zu berücksichtigen (vgl. Tabelle 1, initialer Schlüsselfaktor S10 und Tabelle 5) [9]. Aufgrund eines heterogenen Aufbaus wiederzuverwendender Referenzsystemelemente sind Adoptionsmöglichkeiten an unterschiedliche Umfänge dieser sowie die Berücksichtigung der erforderlichen Qualität notwendig (vgl. Tabelle 5) [10]. Die Systematik muss dabei eine Ausrichtung der Aktivitäten an den logischen Systemebenen vornehmen (vgl. Tabelle 1, initialer Schlüsselfaktor S9 und Tabelle 5) [11].

5 Spezifizieren von Zielen und Anforderungen anhand von Bedarfen im Modell der SGE

Basierend auf den im Abschnitt 4.4 beschriebenen Unterstützungsfaktoren wird in diesem Kapitel das Spezifizieren von Zielen und Anforderungen anhand von Bedarfen im Modell der SGE – Systemgenerationsentwicklung im Sinne einer umfassenden *Präskriptiven Studie* (PS) unterstützt (Blessing & Chakrabarti, 2009). Eine Übersicht der PS ist in Abbildung 5.1 dargestellt.

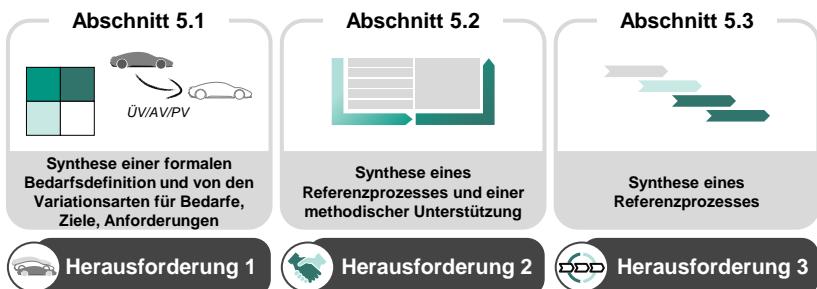


Abbildung 5.1: Übersicht der Präskriptiven Studie (PS)

Herausforderung 1 wird in Abschnitt 5.1 durch eine formale Bedarfsdefinition in Abgrenzung zu Zielen und Anforderungen sowie durch die Beschreibung der Variationsarten von Bedarfen, Zielen und Anforderungen adressiert. Darauf aufbauend werden in Abschnitt 5.2 ein Referenzprozess und methodische Unterstützung zum Zusammenspiel von Bedarfen, Zielen und Anforderungen (vgl. Herausforderung 2) eingeführt. Abschnitt 5.3 beschreibt einen Referenzprozess zur Unterstützung von Herausforderung 3. Die Präskriptive Studie schließt in Abschnitt 5.4 mit einer *Unterstützungsevaluation* durch die Verifikation der beschriebenen Unterstützungsfaktoren (Blessing & Chakrabarti, 2009).

5.1 Systemgenerationsübergreifendes Bedarfs-, Ziel- und Anforderungsverständnis

Dieser Abschnitt bildet die Grundlage für ein (systemgenerationsübergreifendes) Bedarfs-, Ziel- und Anforderungsverständnis im Modell der SGE – Systemgenerationsentwicklung und basiert insbesondere auf den in Abschnitt 4.1 beschriebenen Ergebnissen der systematischen Literaturrecherche zu Ansätzen für die Definition und Formulierung von Bedarfen. Dabei soll Forschungsfrage 1.II (vgl. Abschnitt 3.2) beantwortet werden:

FF1.II Wie können Bedarfe im Systems Engineering formal definiert, formuliert und im Modell der SGE beschrieben werden?

Zu diesem Zweck wird in Abschnitt 5.1.1 im Sinne des *Frameworks der Abstraktionsgrade der Systemmodellierung* ein *Referenz-Systemmodell* durch eine formale Definition des Elementtyps „Stakeholder-Bedarfe“ in Abgrenzung zu Zielen und Anforderungen entwickelt. Das Systemmodellierungs-Framework nach Albers, Matthiesen et al. (2014) kategorisiert dabei die Abstraktionsgrade der Produktmodellierung nach ihrem Individualisierungs- und Instanziierungsgrad und ist in Abbildung 5.2 dargestellt. Aufbauend auf der Bedarfsdefinition wird in Abschnitt 5.1.2 eine *System-spezifische Sprache* deduziert, indem die Variationsarten von Bedarfen, Zielen und Anforderungen im Modell der SGE beschrieben werden.

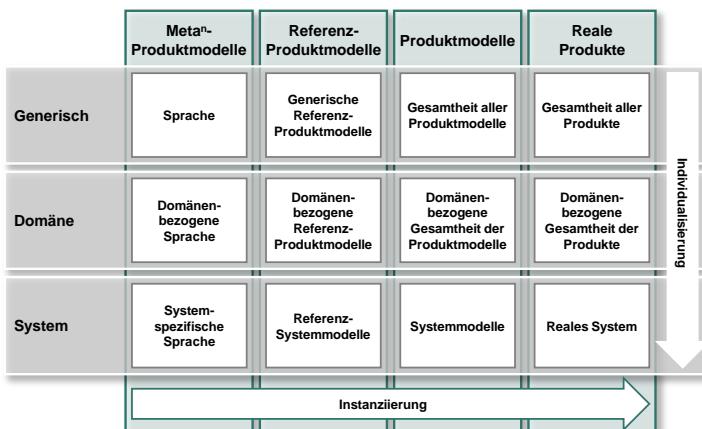


Abbildung 5.2: Framework der Abstraktionsgrade der Systemmodellierung nach Albers und Matthiesen et al. (2014)

Die in diesem Abschnitt beschriebenen Modelle und Sprachen sind in der Publikation Kubin et al. (2023) veröffentlicht worden. Die Studien wurden teilweise im Rahmen der vom Autor Co-betreuten studentischen Abschlussarbeit von Reichert (2022)¹ durchgeführt.

5.1.1 Bedarfsverständnis in der KaSPro – Karlsruher Schule für Produktentwicklung

Basierend auf einer systematischen Literaturrecherche wurden in Abschnitt 4.1 Charakteristika zur Definition von Bedarfen ausgeführt. Darauf aufbauend wird der Zielsystem-Elementtyp „Stakeholder-Bedarf“ in der KaSPro – Karlsruher Schule für Produktentwicklung wie folgt definiert (vgl. Definition 6):

Definition 6: Stakeholder-Bedarf in der KaSPro – Karlsruher Schule für Produktentwicklung (Kubin et al., 2023)

Ein **Stakeholder-Bedarf** ist ein *Zielsystem-Elementtyp*. Dieser ist eine oft abstrakte technische oder ökonomische Erwartung an ein (Sub)-System, unabhängig von der technischen Lösung und der Zielerreichung.

Dieser Definition zufolge wird ein Stakeholder-Bedarf analog zu Zielen und Anforderungen als *Elementtyp des Zielsystems* (vgl. Abschnitt 2.4.1) verstanden und kann sich auf ein System oder eines der Subsysteme beziehen. Dies ist gegensätzlich zu Bhise (2017), demzufolge ein Stakeholder-Bedarf auf das Gesamtsystem und nicht auf Subsysteme einzahlen sollte. Gleichzeitig steht die Definition damit jedoch im Einklang mit dem Großteil der weiteren identifizierten Literatur. Insbesondere das hierarchische Konzept der Systemtheorie nach Ropohl (1975) beschreibt, dass jedes Systemelement wiederum als eigenständiges System betrachtet werden kann und systemtheoretische Ansätze daher immer einen fraktalen Charakter aufweisen (vgl. Abschnitt 2.1.1). Ein System kann dabei sowohl ein Produkt als auch eine Dienstleistung darstellen (ISO 15288; ISO 29148). Im Gegensatz zu Larson et al. (2009) und Ryan et al. (2015) wird auch die Projektbestätigung aus der Bedarfsdefinition ausgeschlossen. Während die Einigung auf ein definiertes Set an Stakeholder-Bedarfen ein wichtiger Schritt für die Verfolgung im weiteren Entwicklungsprozess ist, wird diese nicht in die Definition

¹ Unveröffentlichte, vom Autor Co-betreute Masterarbeit

aufgenommen, da der Bedarf unabhängig von seinem Erfüllungsstatus besteht (Agouridas et al., 2006).

Als Elementtypen des Zielsystems können Bedarfe, Ziele und Anforderungen in Abhängigkeit ihres Reife- und Härtegrads unterschieden werden (vgl. Abschnitt 2.4.1). Hierbei wird der Härtegrad bei der Überführung von unverbindlichen Stakeholder-Bedarfen in verbindliche Ziele und Anforderungen erhöht. Ziele spiegeln dabei häufig eine Konkretisierung der Bedarfe wider. Falls keine Interpretation des Bedarfs erforderlich ist, kann es jedoch auch vorkommen, dass ein Ziel den gleichen Reifegrad wie der zugrundeliegende Bedarf aufweist. Der höchste Reifegrad ist den Anforderungen vorbehalten, da sie die Ziele aus einer technischen Sicht konkretisieren. Demzufolge können Bedarfe, Ziele und Anforderungen in der *Entscheidungsmatrix* nach Ebel (2015) (vgl. Abbildung 2.19), wie in Abbildung 5.3 dargestellt, systemisch voneinander abgegrenzt werden. Hierbei ist zu beachten, dass Ziele in der Praxis häufig einen höheren Härtegrad als Anforderungen aufweisen. (Kubin et al., 2023)

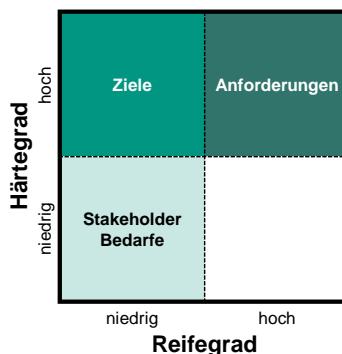


Abbildung 5.3: Abgrenzung von Bedarfen, Zielen und Anforderungen in der Entscheidungsmatrix (Kubin et al., 2023)

Diese Abgrenzung zeigt insbesondere, dass die Überführung von Bedarfen in Ziele und Anforderungen dem ersten von Ebel (2015) beschriebenen Ansatz folgt, demzufolge zunächst der Härtegrad und anschließend der Reifegrad erhöht wird (vgl. Abschnitt 2.4.1). Infolgedessen ist dies auch der Ansatz, der die im Systems Engineering beschriebenen Vorgehensweisen besser repräsentiert. Dies ist insbesondere bei der Ausgestaltung eines Referenzprozesses und einer methodischen Unterstützung zum Zusammenspiel von Bedarfen, Zielen und Anforderungen zu berücksichtigen. (Kubin et al., 2023)

5.1.2 Variationsarten von Bedarfen, Zielen und Anforderungen

Ein Stakeholder-Bedarf beschreibt gemäß Definition 6 die *Erwartung* eines Stakeholders an ein (Sub-)System. Die Erwartung ist dabei die Grundlage für die Überführung des Bedarfs in (konkretisierte) Ziele. Durch die Erfüllung des Bedarfs stiftet das (Sub-)System wiederum einen *Nutzen* für den Stakeholder. Der antizipierte Nutzen ermöglicht die Validierung des Stakeholder-Bedarfs in dem (Sub-)System. Dieses generische Konzept zur Modellierung von Stakeholder-Bedarfen in der KaSPro ist in Abbildung 5.4 dargestellt.

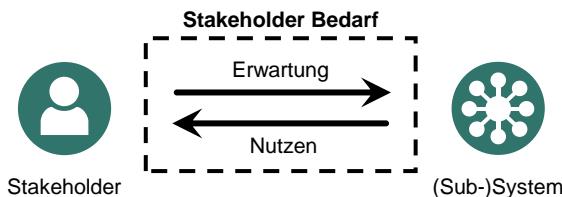


Abbildung 5.4: Modellierung von Stakeholder-Bedarfen in der KaSPro nach Definition 6 (Kubin et al., 2023)

Diese Art der Modellierung ermöglicht eine systematische Formulierung von Stakeholder-Bedarfen. Als Ansatz zur Formulierung können hierbei *User Stories* dienen, da sie darauf abzielen, die spezifischen Bedarfe bestimmter Anwender zu erfassen (Amna & Poels, 2022; Broy, Böhm & Rumpe, 2021; Jantzer, Nentwig, Deininger & Michl, 2019). In Anlehnung an typische Vorlagen für User Stories, wird von Kubin et al. (2023) vorgeschlagen, Stakeholder-Bedarfe wie in Abbildung 5.5 dargestellt zu formulieren. Hierbei beschreiben sowohl die Erwartung als auch der Nutzen ein *Objekt*, das durch ein *Attribut* konkretisiert werden kann. Die Formulierung des Bedarfs sollte eindeutig sein, gleichzeitig aber auch nicht zu spezifisch, damit der Lösungsraum nicht unnötig eingeschränkt wird. Infolgedessen sind die optionalen Attribute, die die Erwartung und den Nutzen konkretisieren können, in den meisten Fällen qualitativ (Brusa, 2018). Dies vereinfacht insbesondere auch die Einführung in das Projekt, die Konkretisierung erfolgt in der anschließenden Überführung in Ziele und Anforderungen. In dem abgebildeten Beispiel stellt „*das Unternehmen*“ den Stakeholder dar. Die Forderung einer „*Best-in-Class*² Reichweite“ beschreibt die Erwartung des Unternehmens, wobei die

² „*Best-in-Class*“ beschreibt den strategischen Anspruch, aus einer Gruppe von Wettbewerbern der Beste in einer definierten Eigenschaftsausprägung zu sein.

„Reichweite“ das Objekt und „Best-in-Class“ das qualitative Attribut darstellt. Der Anspruch „dem Wettbewerb im C-Segment³ kein Differenzierungsmerkmal zu bieten“ führt den antizipierten Nutzen aus, wobei „C-Segment“ die Wettbewerber einschränkt und dadurch ein konkretisierendes Attribut darstellt. (Kubin et al., 2023)

Satzbauschablone zur Formulierung von Stakeholder-Bedarfen

Der <Stakeholder> möchte <Erwartung>, um <Nutzen>.

Exemplarischer Stakeholder-Bedarf



Abbildung 5.5: Satzbauschablone zur Formulierung von Stakeholder-Bedarfen

Diese Art der Modellierung und Formulierung der Stakeholder-Bedarfe ermöglicht eine Beschreibung der Variationsarten auf Grundlage des generischen Variationsoperators (vgl. Abschnitt 2.2.2). Hierbei stellen die Erwartung und der Nutzen inhärente Elemente des Stakeholder-Bedarfs dar. Diese werden durch die Formulierung miteinander verknüpft, da der Nutzen die Erwartung rechtfertigt. Der Stakeholder und das (Sub-)System beschreiben die Schnittstellen des Bedarfs. Infolgedessen ergeben sich die Variationsarten für Stakeholder-Bedarfe gemäß Kubin et al. (2023) wie folgt:

- Eine **Übernahmevariation** (ÜV) eines Stakeholder-Bedarfs ist eine Aktivität zur Entwicklung des Zielsystems eines (Sub-)Systems einer neuen Systemgeneration, bei der der Stakeholder-Bedarf aus dem Referenzsystem in die neue Systemgeneration übernommen wird und Anpassungen nur an den Schnittstellen (d.h. dem Stakeholder oder dem

³ Zur Marktabgrenzung werden verschiedene Fahrzeugsegmente voneinander unterschieden (z.B. C-Segment: Mittelklasse-Fahrzeuge).

(Sub-)System) aufgrund der Integration in das Zielsystem vorgenommen werden.

- Eine **Ausprägungsvariation** (AV) eines Stakeholder-Bedarfs ist eine Aktivität zur Entwicklung des Zielsystems eines (Sub-)Systems einer neuen Systemgeneration, bei der ausgehend von einem Stakeholder-Bedarf aus dem Referenzsystem, die Erwartung und der Nutzen im Prinzip beibehalten werden, aber ihre Attribute zumindest teilweise verändert werden.
- Eine **Prinzipvariation** (PV) eines Stakeholder-Bedarfs ist eine Aktivität zur Entwicklung des Zielsystems eines (Sub-)Systems einer neuen Systemgeneration, bei der ausgehend von einem Stakeholder-Bedarf aus dem Referenzsystem, die Erwartung oder der Nutzen sowie deren Verknüpfung hinzugefügt oder entfernt werden.

Ein Beispiel für die Variationsarten ist, basierend auf dem in Abbildung 5.5 dargestellten exemplarischen Stakeholder-Bedarf, in Tabelle 6 beschrieben.

Tabelle 6: Exemplarische Variation eines Stakeholder-Bedarfs

Variationsart	Beispiel
Übernahmevariation (ÜV)	Das Unternehmen möchte eine Best-in-Class Reichweite , um dem Wettbewerb im C-Segment kein Differenzierungsmerkmal zu bieten.
Ausprägungsvariation (AV)	Das Unternehmen möchte eine in-Best-Class⁴ Reichweite , um dem Wettbewerb im C-Segment kein Differenzierungsmerkmal zu bieten.
Ausprägungsvariation (AV)	Das Unternehmen möchte eine Best-in-Class Reichweite, um dem Wettbewerb im D-Segment kein Differenzierungsmerkmal zu bieten.
Prinzipvariation (PV)	Das Unternehmen möchte eine Best-in-Class Ladezeit , um dem Wettbewerb im C-Segment kein Differenzierungsmerkmal zu bieten.
Prinzipvariation (PV)	Das Unternehmen möchte eine Best-in-Class Reichweite, um die Usability des Fahrzeugs vermarkten zu können.

⁴ „in-Best-Class“ beschreibt den strategischen Anspruch, aus einer Gruppe von Wettbewerbern im oberen Bereich einer definierten Eigenschaftsausprägung zu liegen, jedoch nicht der Beste zu sein.

Ähnliche Satzbauschablonen existieren für die Formulierung von Zielen und Anforderungen (Rupp & SOPHISTen, 2020; Vallejo, Mazo, Jaramillo & Medina, 2020). Während die Ziele manchmal auch aus der Sicht der Stakeholder formuliert werden, spiegeln Anforderungen die technische Perspektive des Systems wider (Larson et al., 2009; Salado, 2021). Sowohl bei Zielen als auch bei Anforderungen konzentrieren sich die Satzbauschablonen weniger auf den Nutzen, da dieser bereits durch den zugrundeliegenden Bedarf beschrieben und damit der Validierung zugänglich gemacht wird. Stattdessen konkretisieren sie die im Bedarf formulierte Erwartung. Diese konkretisierte Erwartung besteht dabei ebenfalls aus einem Objekt und einem Attribut, welches insbesondere auch spezifische Rahmenbedingungen (z.B. Umgebungstemperatur, Ladezustand der Batterie etc.) beschreiben kann (Vallejo et al., 2020). Da dies für Ziele und Anforderungen gilt werden die Variationsarten nicht unterschieden und ergeben sich nach Kubin et al. (2023) und Reichert (2022)⁵ wie folgt:

- Eine **Übernahmevervariation** (ÜV) eines Ziels bzw. einer Anforderung ist eine Aktivität zur Entwicklung des Zielsystems eines (Sub-)Systems einer neuen Systemgeneration, bei der das Ziel bzw. die Anforderung aus dem Referenzsystem in die neue Systemgeneration übernommen wird und Anpassungen nur an den Schnittstellen (d.h. dem (Sub-)System) aufgrund der Integration in das Zielsystem vorgenommen werden.
- Eine **Ausprägungsvariation** (AV) eines Ziels bzw. einer Anforderung ist eine Aktivität zur Entwicklung des Zielsystems eines (Sub-)Systems einer neuen Systemgeneration, bei der ausgehend von einem Ziel bzw. einer Anforderung aus dem Referenzsystem, die konkretisierte Erwartung im Prinzip beibehalten wird, aber ihr Attribut zumindest teilweise verändert wird.
- Eine **Prinzipvariation** (PV) eines Ziels bzw. einer Anforderung ist eine Aktivität zur Entwicklung des Zielsystems eines (Sub-)Systems einer neuen Systemgeneration, bei der ausgehend von einem Ziel bzw. einer Anforderung aus dem Referenzsystem, die konkretisierte Erwartung hinzugefügt oder entfernt wird.

Ein Beispiel für die Variationsarten ist anhand der exemplarischen Anforderung „Das Fahrzeugsystem muss eine elektrische Reichweite im WLTP-Fahrzyklus¹ von

⁵ Unveröffentlichte, vom Autor Co-betreute Masterarbeit

„mindestens 300 km realisieren.“ in Tabelle 7 beschrieben. Hierbei stellt die „elektrische Reichweite im WLTP-Fahrzyklus von mindestens 300 km“ die konkretisierte Erwartung dar, wobei die „elektrische Reichweite im WLTP-Fahrzyklus“ das Objekt repräsentiert, welches durch das Attribut „mindestens 300 km“ spezifiziert wird.

Tabelle 7: Exemplarische Variation einer Anforderung

Variationsart	Beispiel
Übernahmevariation (ÜV)	Das Fahrzeugsystem muss eine elektrische Reichweite im WLTP-Fahrzyklus von mindestens 300 km realisieren.
Ausprägungsvariation (AV)	Das Fahrzeugsystem muss eine elektrische Reichweite im WLTP-Fahrzyklus von mindestens 350 km realisieren.
Prinzipvariation (PV)	Das Fahrzeugsystem muss in 10 Minuten eine elektrische Reichweite im WLTP-Fahrzyklus von mindestens 200 km nachladen können.

5.2 Zusammenspiel von Bedarfen, Zielen und Anforderungen

Ziel dieses Abschnitts ist es, den Produktentwickelnden bei dem Zusammenspiel von Bedarfen, Zielen und Anforderungen zu unterstützen. Grundlage hierfür bilden insbesondere die in Abschnitt 4.2 untersuchten Kernpotenziale sowie die im Rahmen von Experteninterviews identifizierten Einflussfaktoren beim Zusammenspiel. Vor diesem Hintergrund soll Forschungsfrage 2.II (vgl. Abschnitt 3.2) beantwortet werden:

FF2.II Wie kann das Zusammenspiel von Bedarfen, Zielen und Anforderungen in der Automobilentwicklung prozessual und methodisch unterstützt werden?

Albers und Muschik (2010) kategorisieren die Abstraktionsgrade der Prozessmodellierung in einem systemtheoretischen Rahmen in Abhängigkeit von ihrem Individualisierungs- und Instanziierungsgrad. Das daraus resultierende *Framework der Abstraktionsgrade der Prozessmodellierung* ist in Abbildung 5.6 dargestellt. Zur Beantwortung der Forschungsfrage wird in den Abschnitten 5.2.1 und 5.2.2 der Referenzprozess und die methodische Unterstützung zum Zusammenspiel von Bedarfen, Zielen und Anforderungen in der Automobilentwicklung detailliert, d.h. ein *domänenbezogenes Aktivitätsmuster* beschrieben.

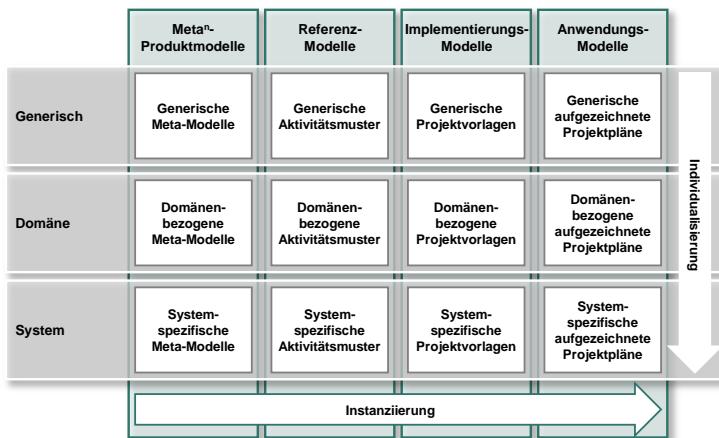


Abbildung 5.6: Framework der Abstraktionsgrade der Prozessmodellierung nach Albers und Muschik (2010)

Die in diesem Abschnitt beschriebenen Aktivitätsmuster wurden in der Publikation Albers und Kubin et al. (vsl. 2025) veröffentlicht. Die Studien wurden teilweise im Rahmen der vom Autor Co-betreuten studentischen Abschlussarbeiten von Fisch (2022)¹ und Reichert (2022)¹ durchgeführt.

5.2.1 Referenzprozess zum Zusammenspiel von Bedarfen, Zielen und Anforderungen

Eingangsgrößen für den Referenzprozess zum Zusammenspiel von Bedarfen, Zielen und Anforderungen stellen das initiale Produktprofil mit den strategischen Leitplanken (vgl. Abschnitt 2.2.4) und die Bedarfe dar, welche z.B. über Trendanalysen, Customer Journeys oder Szenariotechniken erhoben werden können (vgl. Abschnitt 2.4.2). Der Referenzprozess wird dabei in zwei Phasen aufgeteilt: das *Spezifizieren von Zielen* und das *Spezifizieren von Anforderungen*. Im Rahmen der ersten Phase werden ausgehend von den Bedarfen und dem initialen Produktprofil die Ziele der aktuellen Systemgeneration abgeleitet und nach erfolgter Bestätigung vom Projekt in dem Produktprofil dokumentiert. In der zweiten Phase werden die bestätigten Ziele in Form von Anforderungen konkretisiert und

¹ Unveröffentlichte, vom Autor Co-betreute Masterarbeit

anschließend plausibilisiert. Die bestätigten Anforderungen werden in der Produktspezifikation festgehalten und unterliegen damit dem Änderungsmanagement. Eine detaillierte Übersicht der Schritte des Referenzprozesses ist in Abbildung 5.7 dargestellt. (Albers, Kubin et al., vsl. 2025)

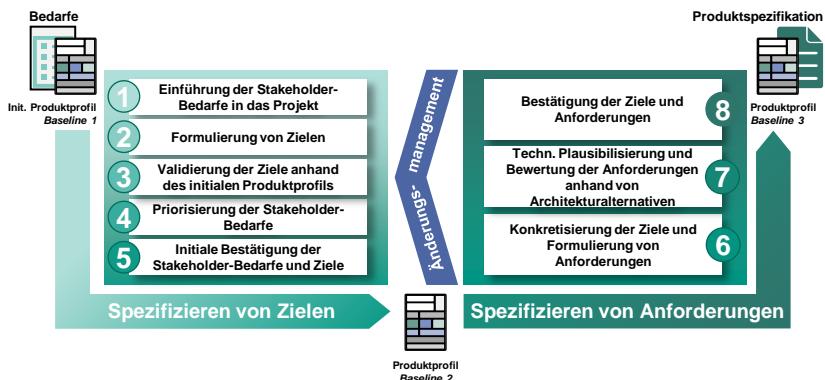


Abbildung 5.7: Referenzprozess zum Zusammenspiel von Bedarfen, Zielen und Anforderungen (Albers, Kubin et al., vsl. 2025)

Diese Schritte werden im Folgenden anhand eines operativen Fallbeispiels aus der Entwicklung einer elektrischen Sportlimousine erläutert:

Kunden und Anwender erleben ihre Fahrzeuge aufgrund einer steigenden Anzahl an batterieelektrischen Autos und autonomen Fahrfunktionen zunehmend in neuen Anwendungsfällen. Insbesondere während des Ladens und während des autonomen Fahrens werden die Fahrzeuge zu privaten Rückzugsorten. Infolgedessen steigen die Erwartungen an die Unterhaltungsmöglichkeiten im Fahrzeug. In der Entwicklung der neuen Generation einer elektrischen Sportlimousine wurde in diesem Zusammenhang im initialen Produktprofil ein „in-Best-Class“ Entertainment als Teil der strategischen Positionierung vorgesehen. Im Rahmen einer Trendanalyse wurde darüber hinaus „In-Car-Gaming“ als relevanter Technologietrend identifiziert, wobei Wettbewerbsfahrzeuge oder Rennsimulatoren potenzielle Referenzsystemelemente bieten. Hieraus resultiert für die neue Systemgeneration der folgende Bedarf: „Die Passagiere im Fahrzeug möchten während des Ladevorgangs unterhalten werden, um die gefühlte Ladezeit zu reduzieren.“

Schritt 1 – Einführung der Stakeholder-Bedarfe in das Projekt: Das initiale Produktprofil, welches als erste Baseline (vgl. Abschnitt 2.4.2) des Produktprofils angesehen werden kann (vgl. Abschnitt 2.4.2) und eine Übersicht der erhobenen Stakeholder-Bedarfe bilden die Eingangsgrößen für die Phase des Spezifizierens der Ziele. In dem ersten Schritt werden alle erhobenen Stakeholder-Bedarfe in das Projekt eingeführt. Hierzu müssen diese den Projektbeteiligten vorgestellt werden, um ein gemeinsames Verständnis zu schaffen. Bedarfe mit einer inhaltlichen Schnittmenge werden konsolidiert und der Reifegrad der Bedarfe wird durch einen interdisziplinären Austausch zwischen Stakeholdern und Produktentwicklung falls nötig angepasst. Hierbei sollte insbesondere darauf geachtet werden, dass jedem Bedarf eine Quelle zugeordnet ist (z.B. eine Marktstudie oder ein spezifisches Lessons Learned) und der antizipierte Nutzen transparent hervorgeht.

Im operativen Fallbeispiel wird der Stakeholder-Bedarf zur „Unterhaltung während des Ladevorgangs“ im entsprechenden Projektgremium vorgestellt. Die Projektbeteiligten werden darüber informiert, dass der Bedarf aus einer Trendanalyse hervorgegangen ist.

Schritt 2 – Formulierung von Zielen: Die erhobenen Stakeholder-Bedarfe dienen als Grundlage für die Formulierung von Zielen. In diesem Schritt wird jeder Bedarf durch mindestens ein Ziel konkretisiert. Diese Konkretisierung kann bspw. in Gruppenworkshops durchgeführt werden, idealerweise in einer interdisziplinären Besetzung mit Expert*innen aus Produktentwicklung, Vertrieb, Qualitätssicherung, Controlling etc.

Der Stakeholder-Bedarf zur „Unterhaltung während des Ladevorgangs“ beinhaltet verschiedene Aspekte. Ein konkretisierendes Ziel umfasst die „Möglichkeit des Audio- und Videostreamings für jeden einzelnen Passagier“. Ein weiterer Aspekt wird durch das Ziel eines „anpassbaren Unterhaltungsprogramms durch In-Car-Gaming für jeden einzelnen Passagier“ beschrieben.

Schritt 3 – Validierung der Ziele anhand des initialen Produktprofils: Die Stakeholder-Bedarfe und die konkretisierenden Ziele werden den im initialen Produktprofil beschriebenen Eigenschaften (vgl. Abschnitt 2.2.4) zugeordnet und stellen damit eine Detaillierung dieser dar. Durch den Abgleich der vorgeschlagenen Ziele mit der strategischen Positionierung im initialen Produktprofil können potenzielle Lücken identifiziert werden oder die Aufmerksamkeit auf eine mögliche Übererfüllung von Eigenschaftsausprägungen gelenkt werden.

Der Stakeholder-Bedarf und die im vorherigen Schritt abgeleiteten Ziele werden der Eigenschaft „Entertainment“ im initialen Produktprofil

zugeordnet und mit der zugrundeliegenden „in-Best-Class“-Positionierung abgeglichen. Unter Zuhilfenahme der damit verbundenen Wettbewerbsprognose ergibt sich aus der interdisziplinären Diskussion, dass der „in-Best-Class“-Anspruch durch die beiden Ziele („Audio- und Videostreaming“ sowie „In-Car-Gaming“) erfüllt werden kann.

Schritt 4 – Priorisierung der Stakeholder-Bedarfe: Die Stakeholder-Bedarfe werden anhand von zwei Dimensionen priorisiert. Hierfür kann beispielsweise eine qualitative Bewertung anhand einer Skala von 1 bis 3 in den entsprechenden Dimensionen genutzt werden. Die erste Bewertungsdimension ist die *Projektrelevanz* aus Sicht der Stakeholder. Sie beschreibt die strategische Relevanz des Bedarfs und kann sich beispielsweise an einer aus dem Kano-Modell (vgl. Abschnitt 2.2.1) resultierenden Bewertung orientieren. Infolgedessen bildet das initiale Produktprofil eine zentrale Eingangsgröße für die Bewertung der Projektrelevanz. Diese Dimension bildet die Grundlage für die Rechtfertigung von Entscheidungen, insbesondere bei der Lösung von Zielkonflikten. Aufgrund ihrer Bedeutung für den Projektstatus ist es zielführend, die Bedarfe mit einer hohen Projektrelevanz regelmäßig dem Management zu berichten.

Eine Marktstudie hat gezeigt, dass Unterhaltungsmöglichkeiten in Limousinen immer wichtiger für Kunden und Anwender werden. Während in der Vergangenheit derartige Funktionen keine zentralen Differenzierungsmerkmale für Sportlimousinen dargestellt haben, steigt die Bedeutung aufgrund von verhältnismäßig langen Ladezeiten und Innovationen aus dem Wettbewerb in diesem Bereich. Aus diesem Grund wird die Projektrelevanz des Bedarfs zur „Unterhaltung während des Ladevorgangs“ als „hoch“ eingestuft.

Die zweite Bewertungsdimension ist die *Architekturrelevanz*. Sie beschreibt, wie viel Aufwand mit der technischen Umsetzung der Ziele, die sich aus dem jeweiligen Stakeholder-Bedarf ableiten, potenziell einhergeht und wieviel Zeit dementsprechend für die Entwicklung eingeplant werden muss. Entwicklungsaufgaben, die eine große Auswirkung auf das Gesamtfahrzeug oder die zugrundeliegende Plattform haben, sind Indikatoren für eine hohe Architekturrelevanz. Infolgedessen bildet die Architekturrelevanz die Grundlage für die zeitliche Abfolge, mit der die Themen im weiteren Verlauf des Produktentstehungsprozess bearbeitet werden. Die Priorisierung der Bedarfe anhand ihrer Projekt- und Architekturrelevanz unterstreicht die Notwendigkeit des interdisziplinären Charakters der Produktentwicklungsteams, da es sich bei dieser Bewertung in den meisten Fällen um eine erfahrungsbasierte und subjektive

Einschätzung durch Expert*innen handelt. Eine vertiefte Beurteilung der (technischen) Machbarkeit erfolgt im Rahmen der Plausibilisierung (Schritt 7).

Da das Ziel für „In-Car-Gaming“ auch Autorennspiele umfassen könnte, ist eventuell ein anderes Lenksystem erforderlich, sofern das Lenkrad als Controller verwendet werden können soll. Dies könnte starke Auswirkungen auf das Fahrzeugkonzept haben. Dementsprechend müssen die Auswirkungen dieses Stakeholder-Bedarfs bereits früh im Entwicklungsprozess berücksichtigt werden, weswegen die Architekturrelevanz als „hoch“ eingestuft wird.

Schritt 5 – Initiale Bestätigung der Stakeholder-Bedarfe und Ziele: Im letzten Schritt der Phase werden die priorisierten Stakeholder-Bedarfe und die konkretisierten Ziele im Einvernehmen mit allen Projektbeteiligten *initial bestätigt* oder abgelehnt bzw. angepasst (z.B. aufgrund eines Widerspruchs zu übergreifenden Strategien des Unternehmens). Hierbei sind insbesondere die Gründe für jede Entscheidung transparent zu dokumentieren. Die initial bestätigten Ziele werden in der zweiten Baseline des Produktprofils festgehalten. Durch die Verknüpfung (i.S.v. Traceability) von Bedarfen und verbindlichen Zielen im Produktprofil wird insbesondere der antizipierte Nutzen der Validierung zugänglich gemacht. Darüber hinaus wird für die Stakeholder ersichtlich, welche Bedarfe nicht oder nur teilweise durch die Ziele erfüllt werden. Von einer initialen Bestätigung ist die Rede, da in diesem Schritt noch nicht alle relevanten Wechselwirkungen bewertet wurden. Dies erfolgt erst im Rahmen der Plausibilisierung und Bewertung der Anforderungen (Schritt 7). In der Produktentwicklungspraxis stellt die initiale Bestätigung die Bereitschaft des Projekts sicher, die abgeleiteten Ziele im Rahmen des anschließenden Spezifizierens von Anforderungen weiterzuverfolgen.

Das Projektteam der Sportlimousine stimmt der Weiterverfolgung der Ziele für „Audio- und Videostreaming“ sowie „In-Car-Gaming“ zu, hält den Bedarf sowie die beiden Ziele im Produktprofil fest und dokumentiert die Entscheidung.

Schritt 6 – Konkretisierung der Ziele und Formulierung von Anforderungen: Im ersten Schritt des Spezifizierens von Anforderungen werden die zunächst initial bestätigten Ziele technisch konkretisiert, d.h. in Anforderungen überführt. Hierbei können aus einem Ziel mehrere Anforderungen resultieren. Dementsprechend sollte dieser Schritt von einem interdisziplinär besetzten Team aus Produktentwickelnden durchgeführt werden, die mit ihrem individuellen Fachwissen in Absprache mit den Stakeholdern sicherstellen, dass die Anforderungen die jeweiligen zugrundeliegenden Bedarfe und Ziele widerspiegeln. Die Anforderungen sollten

dabei einen vergleichbaren Reifegrad aufweisen. Zur Steigerung der Effizienz können hierfür insbesondere Anforderungen aus Referenzsystemelementen herangezogen und bewusst variiert werden (vgl. Abschnitt 5.1.2). Dabei ist jedoch darauf zu achten, dass bei Variation eine Validierung gegenüber dem zugrundeliegenden Stakeholder-Bedarf erfolgt.

Das Ziel zur Umsetzung von „Audio- und Videostreaming“ resultiert in mehreren Anforderungen. Einerseits muss das Fahrzeug ein „unabhängiges Beifahrerdisplay mit Zugang zu den gängigen Streaming-Apps“ realisieren. Andererseits soll eine „Ablenkung des Fahrers durch das Beifahrerdisplay während der Fahrt“ vermieden werden. Beide Anforderungen konnten durch eine Übernahmevariation aus der vorherigen Systemgeneration effizient hergeleitet werden. Im Gegensatz dazu ergibt sich aus dem Ziel zu „In-Car-Gaming“ die Anforderung zur Umsetzung von „entkoppelbaren Pedalen und einem entkoppelbaren Lenkrad“ für die Nutzung im Rahmen von Autorennspielen im Stand. Diese Anforderung beschreibt eine neue Funktionalität im Produktpotfolio des Automobilherstellers und stellt damit eine Prinzipvariation dar.

Schritt 7 – Technische Plausibilisierung und Bewertung der Anforderungen anhand von Architekturalternativen: In dem anschließenden Schritt wird die Machbarkeit der Anforderungen bewertet. Das bedeutet, dass zunächst verschiedene Architekturalternativen zur Realisierung der Anforderungen erarbeitet und technisch plausibilisiert werden. Dabei können insbesondere Referenzsystemelemente wie z.B. Architekturlösungen aus vorherigen Systemgenerationen herangezogen werden. Anschließend erfolgt eine Bewertung der einzelnen Architekturlösungen. Hierfür können neben den technischen Aufwänden weitere Kennzahlen aus gesetzlicher, zeitlicher oder wirtschaftlicher Perspektive herangezogen werden. Diese Bewertung dient als Entscheidungsgrundlage hinsichtlich der Umsetzung einer spezifischen Architekturlösung und den zugrundeliegenden Anforderungen. Wenn keine plausiblen Architekturalternativen für die gegebenen Randbedingungen existieren, kommt das Änderungsmanagement zum Tragen.

Im Rahmen der Bewertung wird zur Realisierung der Anforderung von „entkoppelbaren Pedalen und einem entkoppelbaren Lenkrad“ eine Steer-by-Wire-Lösung, d.h. ein elektrisches Lenksystem, mit einer herkömmlichen Aktivlenkung verglichen. Eine Steer-by-Wire-Lösung würde aufgrund der fehlenden Lenksäule mehr Raum in der Fahrzeuggeometrie (i.S.v. Package) bieten, jedoch gleichzeitig die variablen Kosten erhöhen. Die Aktivlenkung ermöglicht eine direkte mechanische Verbindung zwischen den Reifen und

dem Fahrer und eine damit einhergehende erhöhte Lenkpräzision, nimmt jedoch durch die Lenksäule einen wichtigen Raum der Fahrzeuggeometrie ein. Aufgrund der anspruchsvollen Finanzziele wird empfohlen, eine Steer-by-Wire-Lösung im Rahmen der aktuellen Systemgeneration nicht weiterzuverfolgen. Analog werden Architekturalternativen zur Realisierung der Streaming-Anforderungen bewertet.

Schritt 8 – Bestätigung der Ziele und Anforderungen: Im letzten Schritt werden die plausibilisierten Anforderungen sowie die zugrundeliegenden Ziele schließlich von den Projektbeteiligten bestätigt oder abgelehnt. Im Zuge dessen werden die bestätigten Anforderungen einschließlich ihrer Beziehung zu den zugrundeliegenden Zielen und Stakeholder-Bedarfen in der ersten Baseline der Produktspezifikation dokumentiert. Das Produktprofil wird in Form einer dritten Baseline aktualisiert, um die Entscheidungen zu Zielen und Anforderungen, die nicht erfüllt werden können, zu berücksichtigen.

Die Empfehlung, eine Steer-by-Wire-Lösung nicht weiter zu verfolgen, wird von dem Projektteam bestätigt und die entsprechende Anforderung von „entkoppelbaren Pedalen und einem entkoppelbaren Lenkrad“ wird dahingehend angepasst, dass sie sich nur noch auf „entkoppelbare Pedale“ bezieht. Die Anforderungen werden in der Produktspezifikation festgehalten und die Entscheidung wird dokumentiert.

Über die acht Schritte hinaus muss ein Vorgehen zum Änderungsmanagement beschrieben werden, damit eventuell erforderliche Änderungsbegehren transparent dokumentiert werden können. Infolgedessen werden Produktprofil und Produktspezifikation über den gesamten Entwicklungsprozess hinweg kontinuierlich weiterentwickelt, um die Verbindlichkeit auch nach der ersten Baseline sicherzustellen. Das Bottom-Up Änderungsmanagement (vgl. Abschnitt 2.5) wird aktiv, sobald für die gegebenen Randbedingungen keine Architekturlösung zur Erfüllung der Anforderungen als plausibel bewertet wird (z.B. aufgrund von Architekturverfehlungen im Entwicklungsprozess). In diesem Fall werden die betroffenen Anforderungen in einem interdisziplinären Team von Produktentwickelnden angepasst und, gemeinsam mit den Stakeholdern, gegenüber den zugrundeliegenden Zielen validiert. Wenn die neuen Anforderungen die Ziele nach wie vor abdecken, ist eine Plausibilisierung und Bewertung auf Basis von neuen Architekturlösungen erforderlich. Sofern die neuen Anforderungen die zugrundeliegenden Ziele nicht mehr erfüllen können, müssen die Ziele angepasst oder (teilweise) abgelehnt werden. Neue oder angepasste Stakeholder-Bedarfe im Sinne eines Top-Down Änderungsmanagements (vgl. Abschnitt 2.5) durchlaufen die acht Schritte regulär. Alle im Rahmen des Änderungsmanagements getroffenen

Entscheidungen müssen dabei strukturiert dokumentiert werden, um die Transparenz des Vorgehens zu gewährleisten.

5.2.2 Methodische Unterstützung zum Zusammenspiel von Bedarfen, Zielen und Anforderungen

Zur methodischen Unterstützung des Zusammenspiels von Bedarfen, Zielen und Anforderungen kann eine Vorlage, der sogenannte *Spezifizierungs-Steckbrief*, genutzt werden. Da sich aus einem Bedarf mehrere Ziele ergeben können und ein Ziel die Grundlage für mehrere Anforderungen sein kann, wird für jeden Stakeholder-Bedarf eine eigene Vorlage befüllt. Der Spezifizierungs-Steckbrief ist dabei analog zu den acht Schritten des Referenzprozesses strukturiert und kann dementsprechend sukzessive im Entwicklungsprozess befüllt werden. Um den *Status* der Bedarfe, Ziele und Anforderungen transparent aufzuzeigen und das weitere Vorgehen daran ausrichten zu können, kann eine vierstufige Status-Logik verwendet werden (Offen, In Review, Bestätigt, Abgelehnt). Der Spezifizierungs-Steckbrief ist demzufolge ein Arbeitsdokument, das über den gesamten Produktentwicklungsprozess bearbeitet wird und damit auch einem Änderungsmanagement und einer damit einhergehenden Versionierung unterliegt. Ein exemplarisch befüllter Spezifizierungs-Steckbrief ist in Abbildung 5.8 dargestellt. Hierfür wurde das operative Fallbeispiel zur „*Unterhaltung während des Ladevorgangs*“ aus Abschnitt 5.2.1 herangezogen, wobei eine Momentaufnahme nach Schritt 7 abgebildet ist. (Albers, Kubin et al., vsl. 2025)

Durch den modularen Aufbau des Spezifizierungs-Steckbriefs und die damit verbundene Möglichkeit, die Arbeitsergebnisse nach jedem Schritt des Referenzprozesses zu dokumentieren, werden die Produktentwickelnden in der operativen Durchführung des Zusammenspiels von Bedarfen, Zielen und Anforderungen unterstützt. Gleichzeitig ermöglicht die standardisierte Darstellung aller relevanten Informationen in Bezug auf einen einzelnen Stakeholder-Bedarf eine effiziente Entscheidungsfindung in Managementgremien. Gemäß dem Modell der SGE bietet die Dokumentation aller getroffenen Entscheidungen zudem eine Grundlage für das Spezifizieren im Rahmen zukünftiger Systemgenerationen. Hierdurch wird insbesondere verhindert, dass gleiche Inhalte wiederholt diskutiert werden oder sogar widersprüchliche Entscheidungen in zwei unterschiedlichen Projekten getroffen werden. (Albers, Kubin et al., vsl. 2025)

Unterhaltung während des Ladens | Baseline 2.0 Entertainment

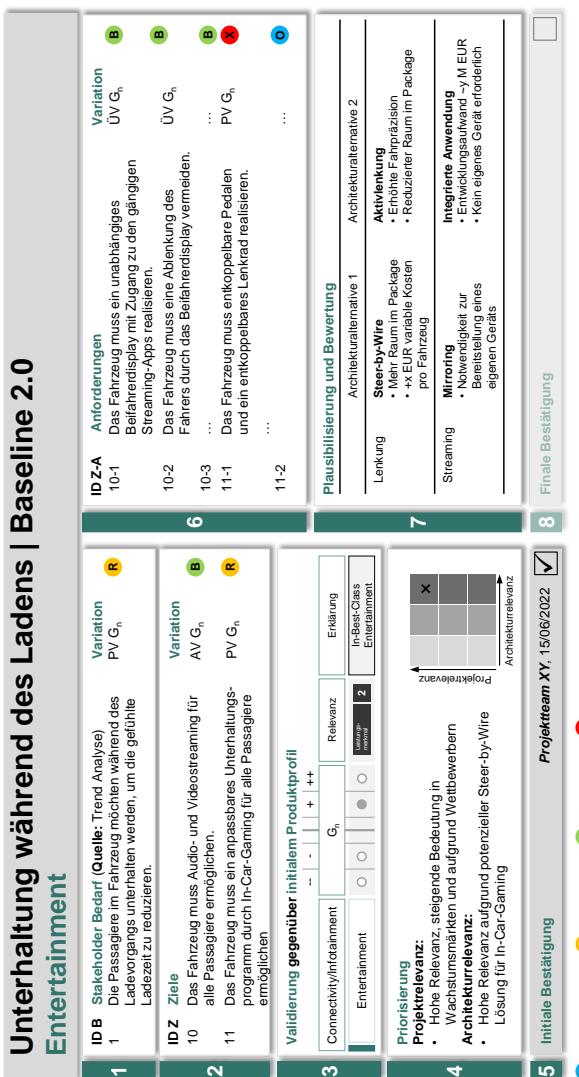


Abbildung 5.8: Spezifizierungs-Steckbrief zur methodischen Unterstützung des Zusammenspiels von Bedarfen, Zielen und Anforderungen (Albers et al., vsl. 2023)

Im Rahmen des initialen Durchlaufs des Referenzprozesses bietet sich *Microsoft PowerPoint* zur Pflege der Spezifizierungs-Steckbriefe an. Nach Abschluss des Referenzprozesses stellt dies jedoch eine redundante Dokumentation dar, da die Bedarfe, Ziele und Anforderungen zusätzlich in dem Produktprofil bzw. in der Produktspezifikation als „*Single Source of Truth*“ der jeweiligen Systemgeneration festgehalten werden müssen. Diese Redundanz mündet nicht nur in einem erhöhten Pflegeaufwand, sondern kann auch zu inkonsistenten Daten führen.

Aus diesem Grund wurde im Rahmen der vorliegenden Forschungsarbeit ein Tool entwickelt, welches eine automatisierte Erstellung der Spezifizierungs-Steckbriefe auf Basis des Produktprofils und der Produktspezifikation ermöglicht. Der sogenannte *Steckbrief-Generator* basiert auf einer PowerPoint-Bildschirmpräsentation, die in Visual Basic for Applications (VBA) programmiert ist. Als Eingangsgröße müssen das Produktprofil und die Produktspezifikationen in einer *Microsoft Excel*/Datei vorliegen. Anschließend kann über einen Knopfdruck die automatisierte Erstellung der Steckbriefe gestartet werden.

Darüber hinaus kann über das Tool der aktuelle Projektfortschritt in Form eines Dashboards dargestellt werden, welches einige zentrale Kennzahlen abbildet (u.a. die Anzahl der erfüllten und nicht erfüllten Bedarfe, die Anzahl der Bedarfe, für die der Referenzprozess bereits vollständig durchlaufen wurde, etc.). Somit wird die Grundlage für eine Kennzahl-basierte Prozessüberwachung dargestellt. Diese ist zentral, um ein Reifegradlevel 2 im Prozessbewertungsframework Automotive Software Process Improvement Capability dEtermination (ASPICE) zu erreichen (vgl. Abschnitt 2.4.2).

Die Bedienoberfläche des Steckbrief-Generators sowie das KPI-Dashboard sind in Abbildung 5.9 bzw. Abbildung 5.10 dargestellt.

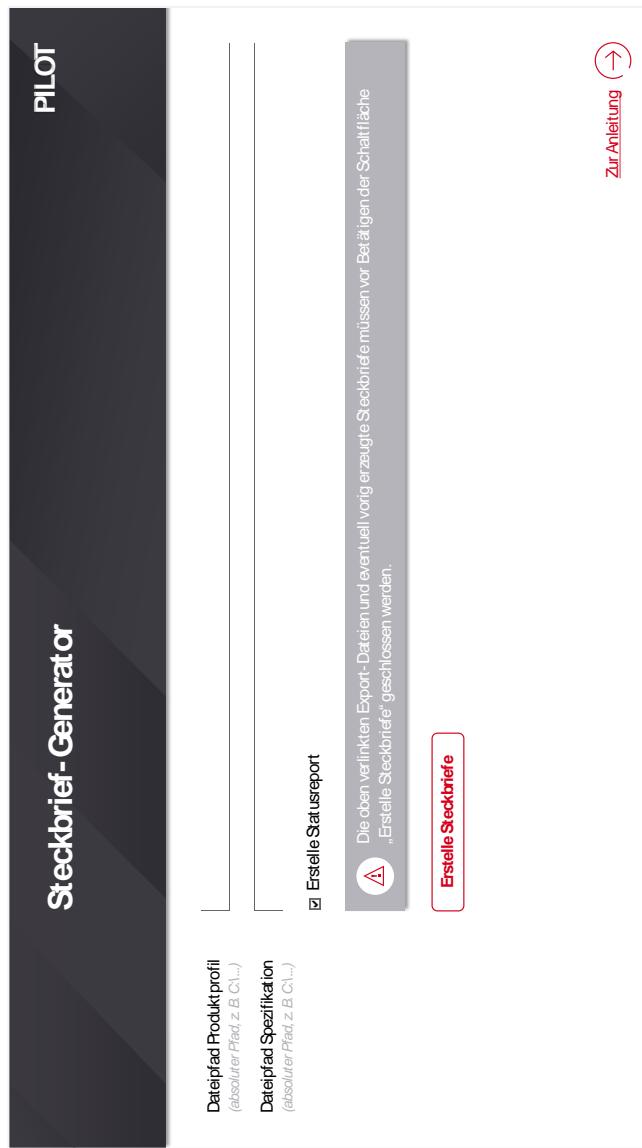


Abbildung 5.9: Bedienoberfläche des Steckbrief-Generators

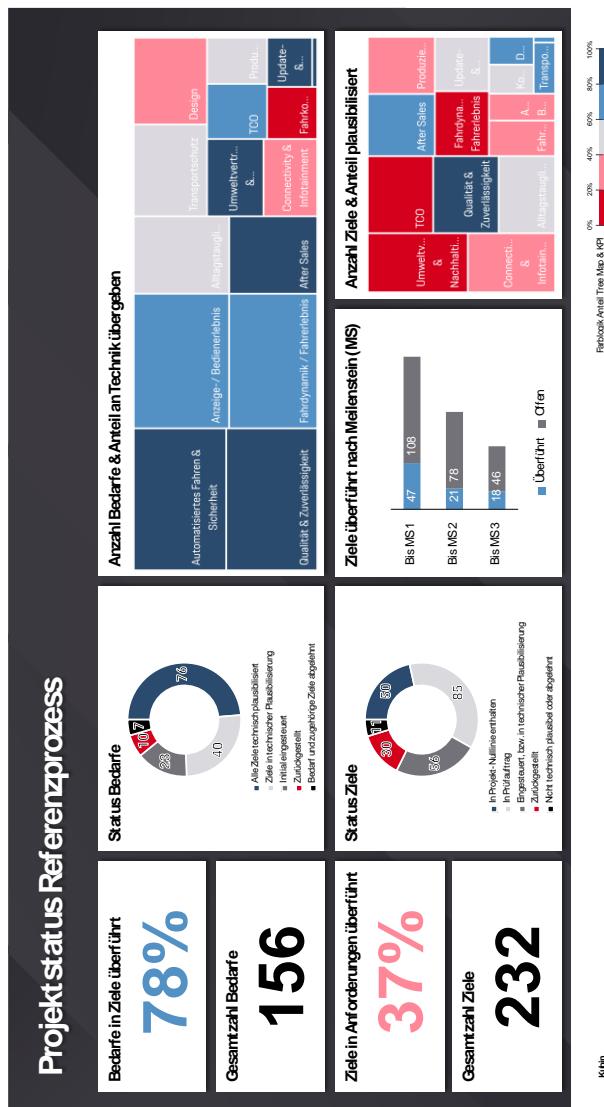


Abbildung 5.10: Automatisiert erstelltes KPI-Dashboard

5.3 Wiederverwendung von Zielen und Anforderungen auf Basis von Bedarfen

In diesem Abschnitt wird die Wiederverwendung von Zielen und Anforderungen auf Basis von Bedarfen im Modell der SGE – Systemgenerationsentwicklung unterstützt. Die in Abschnitt 4.3 identifizierten Kontingenzz- und Einflussfaktoren bilden hierfür die Grundlage. Vor diesem Hintergrund soll Forschungsfrage 3.II (vgl. Abschnitt 3.2) beantwortet werden:

FF2.II Wie kann die Wiederverwendung von Zielen und Anforderungen auf Basis von Bedarfen in der Automobilentwicklung durch das Modell der SGE prozessual unterstützt werden?

Zu diesem Zweck wird in Abschnitt 5.3.1 der Referenzprozess zur Unterstützung der Wiederverwendung von Zielen und Anforderungen auf Basis von Bedarfen detailliert, d.h. ein domänenbezogenes Aktivitätsmuster gemäß dem Framework der Abstraktionsgrade der Prozessmodellierung (vgl. Abbildung 5.6) beschrieben.

Die im Folgenden beschriebenen Aktivitätsmuster wurden in der Publikation Albers und Kubin et al. (2022) veröffentlicht. Die Studien wurden teilweise im Rahmen der vom Autor Co-betreuten studentischen Abschlussarbeit von Eckhardt (2021)¹ durchgeführt.

5.3.1 Referenzprozess zur Wiederverwendung von Zielen und Anforderungen auf Basis von Bedarfen

Im Rahmen der Entwicklung einer neuen Systemgeneration stehen in der Automobilindustrie häufig umfangreiche Anforderungsbündel zur Verfügung, die typischerweise in großen Teilen wiederverwendet werden können (vgl. Abschnitt 4.3). Diese themenspezifischen Anforderungsbündel umfassen Ziele und Anforderungen, denen ein Stakeholder-Bedarf zugrunde liegt. Die Anforderungen in einem solchen Bündel umfassen dabei typischerweise mehrere logische Systemebenen (vgl. Abschnitt 2.3.2). Die Wiederverwendung muss demzufolge einem *Top-Down Ansatz* folgen, der die vier, in Abschnitt 4.3 identifizierten, Kontingenzfaktoren berücksichtigt. Zu diesem Zweck werden der in Abbildung 5.11

¹ Unveröffentlichte, vom Autor Co-betreute Masterarbeit

dargestellte grundlegende Ansatz sowie ein dazugehöriger Referenzprozess mit vier Phasen eingeführt. (Albers, Kubin et al., 2022)

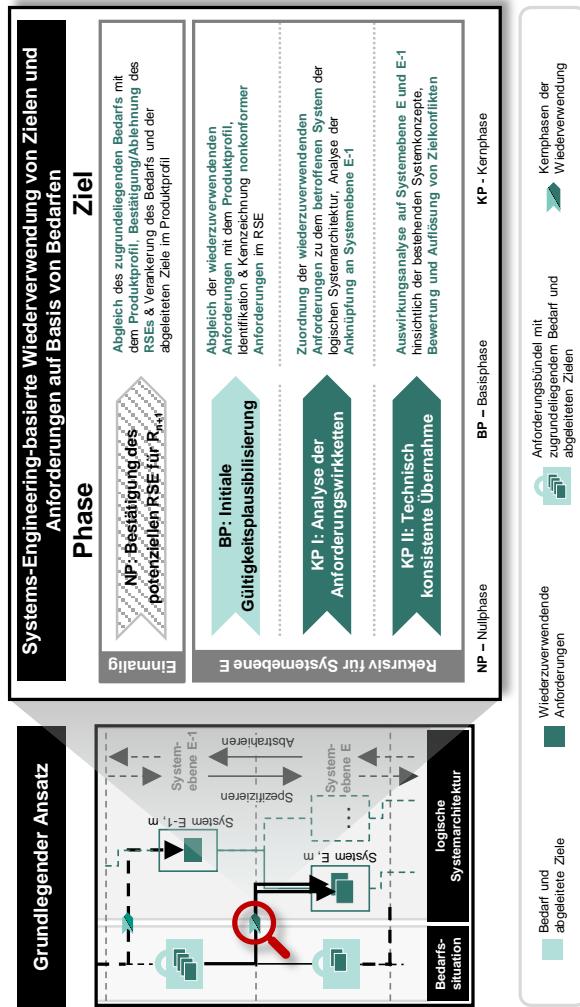


Abbildung 5.11: Referenzprozess zur Wiederverwendung von Zielen und Anforderungen auf Basis von Bedarfen (Albers, Kubin et al., 2022)

Der *grundlegende Ansatz* unterscheidet zwischen zwei Sichten: der Bedarfssituation und der logischen Systemarchitektur. Die wiederzuverwendenden Anforderungsbündel sind zunächst unverbindlich. Für die Übernahme in die aktuelle Systemgeneration G_{n+1} und die damit verbundene Berücksichtigung im Systemkonzept ist es erforderlich, den zugrundeliegenden Bedarf bewusst zu prüfen und gemeinsam mit den konkretisierenden Zielen im Produktprofil zu verankern. Anschließend werden die einzelnen System-spezifischen Anforderungen des Anforderungsbündels im Zusammenspiel mit dem Top-Down Ansatz in die entsprechenden (Sub-)Systeme übernommen. Das bedeutet, dass bei dem Ableiten einer Systemebene E die vorhandenen Anforderungen aus dem Anforderungsbündel als mögliche Lösungselemente für das Spezifizieren der Anforderungen der Systemebene E-1 genutzt werden können. Dieses Vorgehen wird durch vier Phasen beschrieben, welche im Folgenden eingeführt und anhand eines Beispiels erläutert werden. (Albers, Kubin et al., 2022)

Nullphase – Bestätigung des potenziellen RSE für R_{n+1} : Im Rahmen der Bildung des Referenzsystems R_{n+1} muss ein bestehendes Anforderungsbündel zunächst die Nullphase (NP) durchlaufen, um aktiv in das Referenzsystem aufgenommen zu werden. In der NP wird der dem Anforderungsbündel zugrundeliegende Stakeholder-Bedarf mit der im Produktprofil beschriebenen Bedarfssituation abgeglichen. Damit wird geprüft, ob die im Anforderungsbündel aggregierten Anforderungen grundsätzlich relevant für die zu entwickelnde Systemgeneration G_{n+1} sind. Sofern der Bedarf als relevant bestätigt wird, wird das Anforderungsbündel als Referenzsystemelement (RSE) im Referenzsystem verankert. Der Bedarf und die Ziele werden im Produktprofil dokumentiert und für die Systemgeneration G_{n+1} bestätigt. Demzufolge muss die NP nur einmalig für das entsprechende Anforderungsbündel bei der Bildung des Referenzsystems durchlaufen werden. Alle weiteren Phasen weisen hingegen einen fraktalen Charakter auf und werden auf jeder Systemebene E rekursiv durchgeführt. Die NP prüft das RSE makroskopisch auf *Kontingenzfaktor A* (vgl. Abschnitt 4.3), da der Abgleich des Stakeholder-Bedarfs mit dem Produktprofil gewährleistet, dass eine möglicherweise geänderte Bedarfssituation berücksichtigt wird.

Im Rahmen der Entwicklung der Systemgeneration G_{n+1} eines Automobilherstellers wird die Wiederverwendung eines bestehenden Anforderungsbündels zur Sicherstellung der Transportierbarkeit des Fahrzeugs angefragt. Diesem RSE liegt der folgende Bedarf zugrunde: „Das Unternehmen möchte die Transportierbarkeit des Fahrzeugs sicherstellen, um eine Auslieferung zu den Kunden zu ermöglichen.“ Im Rahmen der Nullphase wird die Relevanz des Bedarfs für die G_{n+1} bestätigt, weswegen

das Anforderungsbündel in das Referenzsystem überführt wird und der Bedarf sowie die Ziele im Produktprofil dokumentiert werden.

Basisphase – Initiale Gültigkeitsplausibilisierung: In der anschließenden Basisphase (BP) wird eine initiale Plausibilitätsprüfung durchgeführt. Zu diesem Zweck werden die Anforderungen des Anforderungsbündels, die auf der entsprechenden Systemebene wiederverwendet werden sollen, mit dem Produktprofil abgeglichen. Dabei wird die Relevanz der einzelnen Anforderungen für die Systemgeneration G_{n+1} überprüft, wodurch das RSE aktualisiert und auf die nachfolgenden Kernphasen vorbereitet wird. Nichtkonforme Anforderungen werden im R_{n+1} entsprechend gekennzeichnet und mit einer Begründung abgelehnt, wohingegen die wiederzuverwendenden Anforderungen bestätigt werden. Durch die BP wird somit das Auftreten von *Kontingenzfaktor A* (vgl. Abschnitt 4.3) mikroskopisch vermieden.

Bei der Wiederverwendung des Anforderungsbündels zur Sicherstellung der Transportierbarkeit sollen auf der Systemebene 2 zwei Anforderungen übernommen werden: „Die elektrische Isolation im Fahrzeug muss bis zu einer Höhe von 15 km funktionieren, um den Transport im Flugzeug zu ermöglichen.“ (Anforderung 1) und „Das Fahrzeug muss Rampen mit einer Steigung von 15° ohne Beschädigung befahren können, um einen Transport im LKW zu ermöglichen.“ (Anforderung 2). Der Abgleich mit dem Produktprofil zeigt, dass Anforderung 1 in der aktuellen Systemgeneration nicht mehr relevant ist, da aufgrund von anspruchsvollerem CO₂-Zielen ein Transport im Flugzeug ausgeschlossen wird und ausschließlich sicherheitsrelevante Anforderungen für diesen Anwendungsfall zu berücksichtigen sind. Anforderung 2 ist dagegen im Rahmen der aktuellen Systemgeneration noch relevant und wird für die Wiederverwendung bestätigt.

Kernphase I – Analyse der Anforderungswirkketten: Für die im Rahmen der BP zur Wiederverwendung bestätigten Anforderungen wird in der Kernphase I (KP I) eine Analyse der Anforderungswirkketten durchgeführt. Dabei werden die Anforderungen jeweils zunächst einem der Systeme der Systemebene E zugeordnet. Darüber hinaus wird eine Verknüpfung der wiederzuverwendenden Anforderungen mit bereits bestehenden Anforderungen der Systemebene E-1 untersucht. Hierbei muss analysiert werden, ob eine wiederzuverwendende Anforderung eine bereits auf Systemebene E-1 beschriebene Parent-Anforderung spezifiziert. Sofern keine Parent-Anforderung identifiziert werden kann, muss kritisch geprüft werden, warum (noch) keine übergeordnete Anforderung existiert. Diese Prüfung kann insbesondere Lücken in den Anforderungen der Systemebene

E-1 aufdecken, die durch Abstraktion der wiederzuverwendenden Child-Anforderung geschlossen werden können (z.B. könnte die wiederzuverwendende Child-Anforderung "einstellbare Geschwindigkeit des Scheibenwischers" zu einer Parent-Anforderung "gute Sicht bei allen Wetterbedingungen" abstrahiert werden). Dieses Vorgehen führt dazu, dass jede wiederzuverwendende Anforderung einer für die Systemgeneration G_{n+1} spezifischen Anforderungswirkette zugeordnet werden kann. Sowohl die Zuordnung zu den logischen Systemen als auch die Verknüpfung mit der übergeordneten Systemebene kann dabei durch die Analyse von vorherigen Systemgenerationen unterstützt werden. Durch die KP I wird der Kontingenzfaktor B (vgl. Abschnitt 4.3) adressiert, da durch die gezielte Zuordnung zu einem (Sub-)System der Systemebene E eventuell geänderte Inhalte berücksichtigt werden. Darüber hinaus wird durch die Verknüpfung der wiederzuverwendenden Anforderungen mit der Systemebene E-1 der Kontingenzfaktor C vermieden, da der Einfluss auf die umliegenden Systeme explizit ersichtlich wird.

Die Anforderung zur „Befahrbarkeit von Rampen mit einer Steigung von 15°“ wurde in der vorherigen Systemgeneration dem Karosseriesystem zugeordnet. Aufgrund von geänderten Verantwortlichkeiten muss diese Anforderung jedoch im Rahmen der neuen Systemgeneration G_{n+1} dem Fahrsystem zugeordnet werden. Als Parent-Anforderung auf der darüberliegenden Systemebene wurde die Anforderung zur „Sicherstellung des Transports in LKWs vom Typ xy“ identifiziert.

Kernphase II – Technisch konsistente Übernahme: In der Kernphase II (KP II) wird die eigentliche technisch konsistente Übernahme der wiederzuverwendenden Anforderungen vorgenommen. Im Gegensatz zur NP, BP und KP I muss die KP II für jede Anforderung einzeln durchgeführt werden. Dies ist notwendig, da sich mit jeder wiederverwendeten Anforderung sowohl das Systemkonzept des entsprechenden (Sub-)Systems als auch das des Gesamtsystems ändert. Im Rahmen der KP II wird zunächst eine Situationsanalyse auf Systemebene E-1 und E durchgeführt. Im Zuge dessen wird die wiederzuverwendende Anforderung auf Zielkonflikte zu dem bestehenden Systemkonzept überprüft. Werden Zielkonflikte aufgedeckt muss zur Auflösung dieser entschieden werden, ob die wiederzuverwendende Anforderung angepasst oder verworfen werden soll. Alternativ kann das bestehende Systemkonzept unter Berücksichtigung der Bedarfssituation adaptiert werden, um die Zielkonflikte aufzulösen. Zur Unterstützung dieser Entscheidungsfindung ist eine Priorisierung der Anforderungen erforderlich. Hierfür können bspw. das Kano-Modell (vgl. Abschnitt 2.2.1) oder die Projektrelevanz des zugrundeliegenden Bedarfs (vgl. Abschnitt 5.2.1) herangezogen werden. Ausgehend von der Lösungsauswahl wird eine

Tragweitenanalyse durchgeführt, die den Aufwand der eventuell erforderlichen Anpassung des Systemkonzepts bewertet. Hierbei können neben dem technischen Aufwand auch weitere Aspekte aus gesetzlicher, zeitlicher oder wirtschaftlicher Sicht berücksichtigt werden. Auf dieser Basis kann eine finale Entscheidung zur Wiederverwendung der Anforderung getroffen werden. Durch die Berücksichtigung der Wechselwirkungen der einzelnen wiederzuverwendenden Anforderungen mit dem bestehenden Systemkonzept wird vermieden, dass Zielkonflikte unbemerkt entstehen können. Aus diesem Grund wird durch die KP II der Kontingenzfaktor *D* (vgl. Abschnitt 4.3) vermieden.

Aufgrund der im Rahmen der Systemgeneration G_{n+1} bestehenden, ambitionierten Ziele und Anforderungen zur elektrischen Reichweite des Fahrzeugs und einer daraus resultierenden geringen Bodenfreiheit können mit dem vorherrschenden Systemkonzept lediglich Rampen mit einer Steigung von 13° befahren werden. Dies steht im Widerspruch mit der wiederzuverwendenden Anforderung zur „Befahrbarkeit von Rampen mit einer Steigung von 15°“, woraus ein Zielkonflikt resultiert. Die Priorisierung zeigt, dass an der wiederzuverwendenden Anforderung festgehalten werden muss, da auch in Zukunft ein Großteil der Fahrzeuge im LKW transportiert werden soll. Aus diesem Grund wird das bestehende Systemkonzept um einen Lift-Modus erweitert, der das Fahrwerk bei niedrigen Geschwindigkeiten anheben kann und dadurch die Befahrbarkeit von Rampen mit einer Steigung von bis zu 15° ermöglicht.

5.4 Unterstützungsevaluation

Den Abschluss der Präskriptiven Studie bildet gemäß der Design Research Methodology (DRM) nach Blessing und Chakrabarti (2009) die *Unterstützungsevaluation* (vgl. Abschnitt 3.4). Zu diesem Zweck werden in Abbildung 5.12 die in Abschnitt 4.4 beschriebenen 11 Unterstützungs faktoren anhand der Ergebnisse der PS verifiziert.

Hierdurch wird der Nachweis erbracht, dass die Unterstützungs faktoren im Rahmen der Präskriptiven Studie vollständig umgesetzt wurden. Die Evaluation der tatsächlichen Unterstützung des Produktentwickelnden erfolgt im Rahmen der folgenden Deskriptiven Studie II.

Spezifizieren von Zielen und Anforderungen anhand von Bedarfen im Modell der SGE

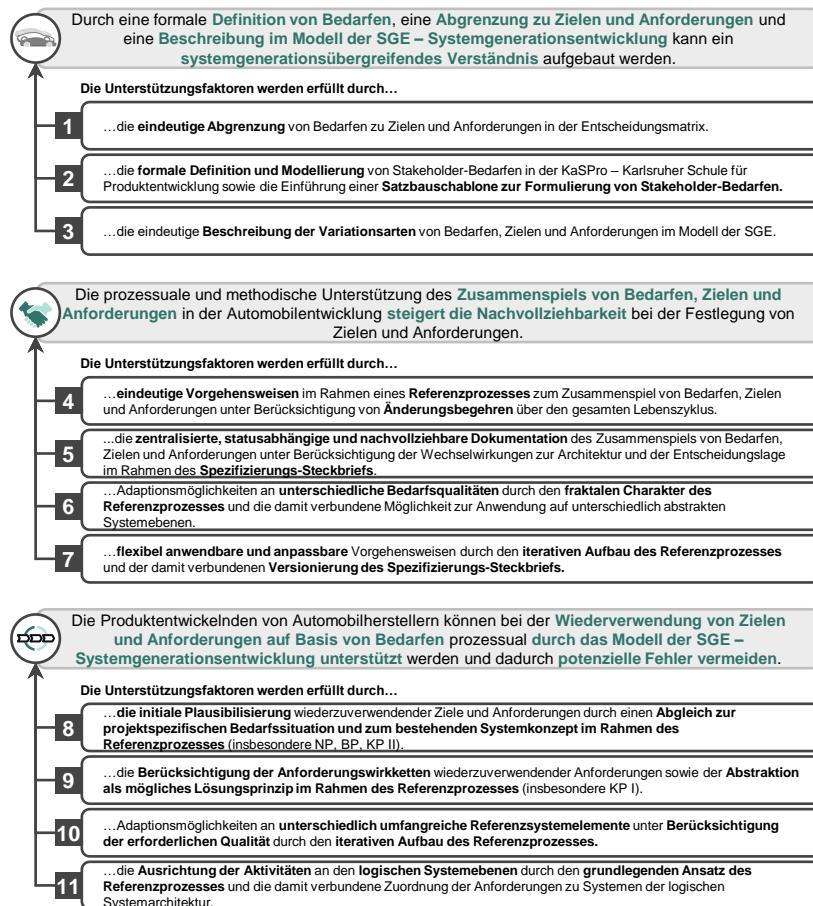


Abbildung 5.12: Verifikation der Unterstützungsfaktoren

6 Evaluation der entwickelten Systematik in der Produktentwicklungspraxis

In Anlehnung an die Design Research Methodology (DRM, vgl. Abschnitt 3.4) erfolgt in diesem Kapitel eine initiale *Deskriptive Studie II* (DS-II). Im Zuge dessen wird untersucht, ob die prozessuale und methodische Unterstützung beim Spezifizieren von Zielen und Anforderungen anhand von Bedarfen den erwarten Effekt in der *Anwendbarkeit* erfüllt und einen *initialen Erfolgsbeitrag* leistet (Blessing & Chakrabarti, 2009). Der Aufbau der DS-II ist in Abbildung 6.1 dargestellt.



Abbildung 6.1: Übersicht der Deskriptiven Studie II (DS-II)

Die Evaluation des (systemgenerationsübergreifenden) Bedarfs-, Ziel- und Anforderungsverständnisses (vgl. Herausforderung 1) wird in Abschnitt 6.1 beschrieben. Hierbei wurde zunächst eine Anwendbarkeitevaluation des Bedarfsverständnisses in der KaSPro – Karlsruher Schule für Produktentwicklung bei einem Automobilhersteller durchgeführt. Darauf aufbauend wurde bei demselben OEM sowie bei einem Werkzeugmaschinenhersteller der initiale Erfolgsbeitrag untersucht. Herausforderung 2 und das damit einhergehende Zusammenspiel von Bedarfen, Zielen und Anforderungen wird in Abschnitt 6.2 evaluiert. Zu diesem Zweck wurde die Anwendbarkeit im Live-Lab ProVIL – *Produktentwicklung im virtuellen Ideenlabor* analysiert und eine initiale Erfolgsevaluation bei einem Automobilhersteller durchgeführt. Für die prozessuale Unterstützung der Wiederverwendung von Zielen und Anforderungen auf Basis von Bedarfen (vgl. Herausforderung 3) wird in Abschnitt 6.3 eine Anwendbarkeits- und initiale Erfolgsevaluation bei einem Automobilhersteller beschrieben.

6.1 Evaluation des systemgenerationsübergreifenden Bedarfs-, Ziel- und Anforderungsverständnisses

In der ersten Studie der DS-II sollen die Anwendbarkeit und der initiale Erfolgsbeitrag des (systemgenerationsübergreifenden) Bedarfs-, Ziel- und Anforderungsverständnisses (vgl. Abschnitt 5.1) evaluiert werden. Dabei soll Forschungsfrage 1.III (vgl. Abschnitt 3.2) beantwortet werden:

FF1.III Können die Merkmale der Bedarfsdefinition in der Praxis wiedergefunden werden und das systemgenerationsübergreifende Verständnis verbessern?

Zur Beantwortung der Forschungsfrage wurde zunächst im Sinne einer Anwendbarkeitsevaluation eine teilnehmende Beobachtung im Anforderungsmanagement eines Automobilherstellers durchgeführt (vgl. Abschnitt 6.1.1). Hierbei wurde untersucht, ob sich die Charakteristika der Definition von Stakeholder-Bedarfen in der KaSPro im Rahmen der Produktentwicklungspraxis wiederfinden. Zur Evaluation des initialen Erfolgsbeitrags in Abschnitt 6.1.2 wurde bei einem Werkzeugmaschinenhersteller anhand einer Fragebogenstudie analysiert, ob durch die Definition das Bedarfsverständnis verbessert werden kann. Darüber hinaus wurde mittels einer quantitativen Dokumentenanalyse bei einem Automobilhersteller überprüft, ob durch die Ergebnisse der Präskriptiven Studie ein systemgenerationsübergreifendes Bedarfs-, Ziel- und Anforderungsverständnis aufgebaut werden kann.

Die in diesem Abschnitt beschriebenen Untersuchungen sind in der Publikation Kubin et al. (2023) veröffentlicht worden. Die Studien wurden teilweise im Rahmen der vom Autor Co-betreuten studentischen Abschlussarbeiten von Reichert (2022)¹ und Dogru (2023)¹ durchgeführt.

6.1.1 Anwendbarkeitsevaluation

Im Rahmen einer 11-monatigen teilnehmenden Beobachtung bei einem deutschen Automobilhersteller wurde das Anforderungsmanagement der Frühen Phase einer Systemgeneration G_{n+1} untersucht. Ziel war es, die Definition von Stakeholder-Bedarfen in der KaSPro (vgl. Abschnitt 5.1.1) an den Beobachtungen in der Produktentwicklungspraxis zu reflektieren. Im Zeitraum der teilnehmenden

¹ Unveröffentlichte, vom Autor Co-betreute Masterarbeit

Beobachtung wurden insbesondere die Anforderungen für ein Fahrzeugprojekt rund fünf Jahre vor Produktionsbeginn (*engl.*: start of production) spezifiziert.

Zu diesem Zweck wurden zunächst Informationen über die aktuelle Marktsituation, Wettbewerber, rechtliche Randbedingungen und Unternehmensstrategien gesammelt. Die Ergebnisse wurden von den Stakeholder-Vertretern in dem Unternehmen verdichtet und dem Projektteam als Bedarfe vorgeschlagen. Im Zuge dessen wurden diese Bedarfe diskutiert und falls nötig angepasst, um die beabsichtigte Erwartung exakt wiederzugeben. Hierbei wurde insbesondere darauf geachtet, dass die Bedarfe noch keine Architekturlösungen vorgeben. Anschließend wurden diejenigen Bedarfe, die für das Projekt als relevant identifiziert wurden, in der sogenannten *Stakeholder-Spezifikation* dokumentiert. Im nächsten Schritt wurden aus den Stakeholder-Bedarfen konkretisierende Ziele abgeleitet und in einem interdisziplinären Team mit Expert*innen aus Entwicklung, Marketing, Produktstrategie und weiteren Bereichen diskutiert. Nach ihrer Bestätigung wurden die Ziele ebenfalls in der Stakeholder-Spezifikation festgehalten und mit dem zugrundeliegenden Bedarf verknüpft. Die Ziele dienten anschließend als Grundlage für die Ableitung einer technischen Spezifikation. Hierbei wurden durch das interdisziplinäre Team die Anforderungen spezifiziert, einem (Sub-)System der logischen Systemarchitektur zugeordnet und in der entsprechenden Systemspezifikation dokumentiert. Darauf aufbauend wurden Architekturalternativen erarbeitet und bewertet. Wenn eine Anforderung und das dazugehörige Ziel im Projekt nicht erfüllt werden konnten, wurden sie angepasst bzw. abgelehnt, während der Stakeholder-Bedarf unverändert blieb. Der zugrundeliegende Bedarf wurde nur dann angepasst, wenn eine Änderung der Erwartung oder des antizipierten Nutzens durch die Stakeholder-Vertreter festgestellt wurde. Ein Überblick über das beobachtete Vorgehen ist in Abbildung 6.2 dargestellt. (Kubin et al., 2023)

Die meisten Charakteristika der Definition von Stakeholder-Bedarfen in der KaSPro konnten in der Praxis beobachtet werden. Bei dem Automobilhersteller werden Stakeholder-Bedarfe als Elementtyp im Zielsystem verwendet und bilden die Basis für das Spezifizieren von Zielen und Anforderungen. Quellen für die Bedarfe sind dabei u.a. Kundenbefragungen, Lessons Learned oder Markt-Workshops. Ihr abstrakter Charakter wird zunächst in Zielen und anschließend in Anforderungen konkretisiert. Stakeholder-Bedarfe sind dabei, ebenso wie die abgeleiteten Ziele und Anforderungen, unabhängig von der Lösung. Obwohl die Bedarfe in einer einzigen Spezifikation dokumentiert werden, können sie jeder Systemebene zugeordnet werden. Hierbei werden die Ziele und Anforderungen angepasst, wenn sie nicht erfüllt werden können. Da die Bedarfe einem solchen Änderungsmanagement nicht unterliegen, sind sie nicht verbindlich für die technische Realisierung. Während die

technischen Erwartungen durch das beschriebene Vorgehen erfasst werden, konnte dies für ökonomische Erwartungen nicht beobachtet werden. (Kubin et al., 2023)

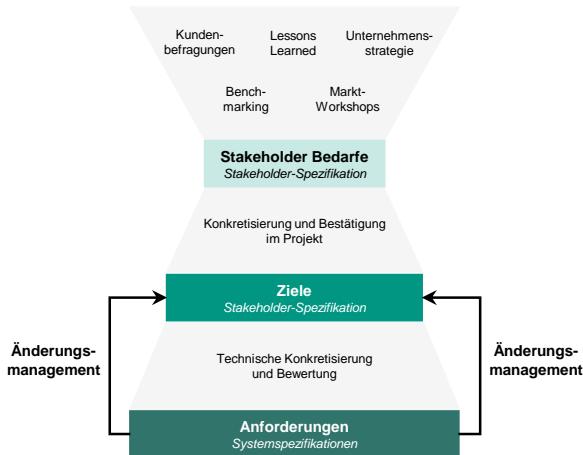


Abbildung 6.2: Beobachtetes Bedarfsverständnis bei einem Automobilhersteller (Kubin et al., 2023)

6.1.2 Initiale Erfolgsevaluation

Um zu untersuchen, ob die Definition das Bedarfsverständnis verbessern kann, wurde eine *Fragebogenstudie* mit einem interdisziplinären Team von Produktentwickelnden bei einem deutschen Werkzeugmaschinenhersteller durchgeführt. 36 Teilnehmende wurden in drei Gruppen aufgeteilt, wobei darauf geachtet wurde, dass die Gruppen inhaltlich ein möglichst ähnliches Spektrum an Expertise abdecken, d.h. dieselben Bereiche in allen Gruppen repräsentiert waren. Für die Befragung wurde ein Fragebogen mit 20 Aussagen verwendet, welcher von 24 Teilnehmenden beantwortet wurde. Die Aussagen im Fragebogen wurden im Vorfeld im Rahmen der Entwicklung einer Flachbett-Laserschneidemaschine identifiziert und umfassten Bedarfe, Anforderungen und Architekturlösungen¹. Die Klassifizierung der Aussagen erfolgte dabei durch Expert*innen aus dem

¹ Aussagen, welche den Einsatz oder die Änderung spezifischer Subsysteme oder Plattformen fordern.

Entwicklungsprojekt, welches den Teilnehmenden der Fragebogenstudie unbekannt war. (Kubin et al., 2023)

In dem Fragebogen wurden die Teilnehmenden gebeten, diejenigen Aussagen zu identifizieren, die Stakeholder-Bedarfe darstellen. Aus diesem Grund wurde insbesondere darauf geachtet, die Formulierung der Aussagen zu standardisieren. Andernfalls hätte die verwendete Satzbauschablone Rückschlüsse auf die Art der Aussage ermöglicht. Die erste Gruppe der Teilnehmenden erhielt als Hilfestellung die Definition von Stakeholder-Bedarfen aus dem Systems Engineering Handbook (vgl. Abschnitt 2.4.1). Die zweite Gruppe erhielt die Definition von Stakeholder-Bedarfen in der KaSPro (vgl. Abschnitt 5.1.1). Die Teilnehmenden der dritten Gruppe dienten als Kontrollgruppe und erhielten keine weiteren Hilfsmittel. Tabelle 8 zeigt für die drei Gruppen auf, welcher Anteil der Teilnehmenden eine spezifische Aussage als Bedarf identifiziert hat. Infolgedessen wird zwischen Aussagen unterschieden, die tatsächlich Stakeholder-Bedarfe darstellen und damit korrekt als solche identifiziert wurden, und Aussagen, die Anforderungen bzw. Architekturlösungen darstellen und fälschlicherweise als Bedarfe eingeschätzt wurden. (Kubin et al., 2023)

In der Kontrollgruppe wurden die Stakeholder-Bedarfe im Durchschnitt in 47,1% der Fälle korrekt als solche erkannt. Die Teilnehmenden, welche die Definition aus dem Systems Engineering Handbook erhielten, hatten im Durchschnitt eine etwas schlechtere *Sensitivität*, während die Befragten mit der Definition von Stakeholder-Bedarfen in der KaSPro im Durchschnitt 65,3% der Bedarfe korrekt identifizieren konnten. Die erste und zweite Gruppe identifizierte durchschnittlich 11,1 bzw. 10,1 der insgesamt 20 Aussagen als Bedarfe, während die Kontrollgruppe lediglich 5,9 als solche identifizierte. Daraus ergibt sich, dass die Kontrollgruppe die höchste *Präzision* bei der Identifikation der Bedarfe (53,2%), verglichen mit den Gruppen 1 und 2 (30,1% bzw. 39,5%), aufwies. Eine mögliche Erklärung für Gruppe 1 ist, dass die Definition aus dem Systems Engineering Handbook auch auf Anforderungen anwendbar ist, da diese ebenfalls als „fehlende Fähigkeiten oder Eigenschaften [eines Systems]“ angesehen werden können (INCOSE, 2015). In Gruppe 2 identifizierten die Teilnehmenden Anforderungen häufig auch dann als Stakeholder-Bedarfe, wenn nicht alle in der Definition beschriebenen Charakteristika erfüllt waren. Um diesen Effekt in der Praxis zu vermeiden, sollte die Definition von Stakeholder-Bedarfen zusammen mit der Definition von Zielen und Anforderungen eingeführt werden. Umfangreichere Schulungs-Maßnahmen der Produktentwickelnden können dabei eine zusätzliche Unterstützung darstellen. (Kubin et al., 2023)

Tabelle 8: Auswertung der Fragebogenstudie zum Bedarfsverständnis (Kubin et al., 2023)

Aussage	Zur Verfügung gestellte Definition von Stakeholder-Bedarfen		
	INCOSE (2015) (n=7)	KaSPro (n=7)	Keine (n=10)
Bedarfe korrekt identifiziert			
B1	42,9%	85,7%	30%
B2	14,3%	100%	50%
B3	42,9%	57,1%	50%
B4	28,6%	42,9%	80%
B5	71,4%	71,4%	70%
B6	85,7%	57,1%	30%
B7	28,6%	42,9%	20%
Ø	44,9%	65,3%	47,1%
Anforderungen fälschlicherweise als Bedarfe identifiziert			
A1	42,9%	42,9%	10%
A2	85,7%	57,1%	20%
A3	42,9%	71,4%	20%
A4	100%	71,4%	20%
A5	42,9%	71,4%	20%
A6	71,4%	57,1%	10%
A7	71,4%	28,6%	20%
A8	85,7%	71,4%	10%
Ø	67,9%	58,9%	16,3%
Architekturlösungen fälschlicherweise als Bedarfe identifiziert			
L1	42,9%	42,9%	60%
L2	42,9%	57,1%	30%
L3	14,3%	28,6%	0%
L4	28,6%	28,6%	40%
L5	28,6%	28,6%	0%
Ø	31,4%	37,1%	26,0%

Um zu evaluieren, ob durch die Ergebnisse der Präskriptiven Studie ein systemgenerationsübergreifendes Bedarfs-, Ziel- und Anforderungsverständnis aufgebaut werden kann, wurde eine *quantitative Dokumentenanalyse* bei einem deutschen Automobilhersteller durchgeführt. Dieses *systemgenerationsübergreifende Verständnis* wird dabei wie folgt definiert:

- Verständnis für Variationsanteile und den zugrundeliegenden Ursachen von Bedarfen, Zielen und Anforderungen
- Verständnis für den Einfluss der Variation von Bedarfen auf die Variation der abgeleiteten Ziele und Anforderungen

Das Vorgehen im Rahmen der quantitativen Dokumentenanalyse ist in Abbildung 6.3 dargestellt und wurde in Anlehnung an das *CRoss Industry Standard Process for Data Mining* (CRISP-DM) Modell durchgeführt (Shearer, 2000).



Abbildung 6.3: Vorgehen im Rahmen der quantitativen Dokumentenanalyse in Anlehnung an das CRISP-DM Modell (Shearer, 2000)

Im ersten Schritt wurde ein *Verständnis für die Daten* aufgebaut. Zu diesen Zweck wurden Dokumente identifiziert, die zum Aufbau eines systemgenerationsübergreifenden Verständnisses für Bedarfe, Ziele und Anforderungen erforderlich sind. Hierzu zählten die Produktprofile sowie die Spezifikationen der G_{n-1} und der G_n . Anschließend erfolgte die *Vorbereitung der Daten*. In diesem Schritt wurden die in den Dokumenten beschriebenen Bedarfe, Ziele und Anforderungen auf Korrektheit, Vollständigkeit und Einheitlichkeit zwischen den beiden Systemgenerationen überprüft. Darauf aufbauend wurden die relevanten Inhalte der Dokumente in einem einheitlichen Format² zusammengeführt, um die anschließende Evaluation vorzubereiten. Hierbei wurden insbesondere die Bedarfe mit den abgeleiteten Zielen und Anforderungen in Beziehung gesetzt, um die Abhängigkeiten nachvollziehen zu können. Im Rahmen

² Zur Zusammenführung der Bedarfe, Ziele und Anforderungen in einem einheitlichen Format wurde im Rahmen der vorliegenden Forschungsarbeit Microsoft Excel verwendet.

der *Evaluation* wurden für die Bedarfe, Ziele und Anforderungen der G_n die jeweiligen Variationsarten sowie die zugrundeliegenden Ursachen identifiziert. Zur Analyse der Ursachen wurden dabei semi-strukturierte Experteninterviews sowie eine 24-monatigen teilnehmende Beobachtung herangezogen. Im letzten Schritt erfolgte die *Bereitstellung* der Daten. Hierzu wurden die Variationsanteile der Bedarfe, Ziele und Anforderungen sowie die zugrundeliegenden Ursachen ausgewertet und mit Expert*innen aus dem Anforderungsmanagement des Automobilherstellers diskutiert. Die daraus resultierenden übergreifenden Erkenntnisse sind in Abbildung 6.4 dargestellt.

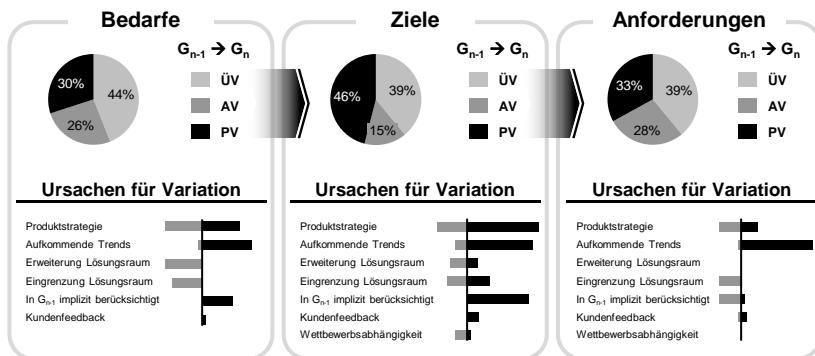


Abbildung 6.4: Erkenntnisse aus der quantitativen Dokumentenanalyse zu den Variationsanteilen und Ursachen von Bedarfen, Zielen und Anforderungen

Insgesamt wurden sieben Ursachen für die Variation von Bedarfen, Zielen und Anforderungen zwischen den beiden Systemgenerationen des Automobilherstellers identifiziert:

- **Geänderte Produktstrategie:** Bedingt durch die verstärkte Berücksichtigung von Wachstumsmärkten und aufstrebenden Wettbewerbern kann es zu einer angepassten Unternehmens- und Produktstrategie kommen (Dumitrescu et al., 2021). Dies hat häufig einen direkten Einfluss auf die damit verbundenen Bedarfe, Ziele und Anforderungen. *Beispiel: Insbesondere in Wachstumsmärkten ist die Reichweite von Elektroautos aufgrund einer geringen Anzahl an Ladestationen ein zentrales Kaufargument. Aus diesem Grund wird der Bedarf einer „in-Best-Class⁴ Reichweite“ in der aktuellen Systemgeneration im Sinne einer Ausprägungsvariation in eine „Best-in-Class² Reichweite“ transformiert.*

- **Verstärkte Berücksichtigung aufkommender Trends:** Trends wie z.B. eine zunehmende Digitalisierung, der Einsatz von künstlicher Intelligenz und ein verstärkter Fokus auf Nachhaltigkeit können im Rahmen zukünftiger Systemgenerationen in neuen oder angepassten Bedarfen, Zielen und Anforderungen resultieren (Dumitrescu et al., 2021). *Beispiel: Insbesondere in einigen Wachstumsmärkten rückt die Emotionalisierung von Elektroautos zunehmenden in den Fokus. Aus diesem Grund wird im Rahmen der aktuellen Systemgeneration der Bedarf zur „Inszenierung des Ein- und Ausstiegs“ im Sinne einer Prinzipvariation aufgenommen.*
- **Erweiterung Lösungsraum durch Abstraktion:** Um zusätzliche Freiheitsgrade im Systemkonzept zu realisieren, kann eine lösungsoffener Formulierung von Bedarfen, Zielen und Anforderungen herangezogen werden. Hierdurch kann insbesondere das Innovationspotenzial der Systemgeneration gesteigert werden. *Beispiel: Die Anforderung zur „Anzeige der Bremsentemperatur im Kombiinstrument“ wird im Rahmen der aktuellen Systemgeneration abstrahiert zur „Anzeige von Performance-bezogenen Daten in den Displays“, um den Lösungsraum zur Darstellung weiterer technischer Daten zu öffnen, die ggf. im Rahmen einer sportlichen Fahrt durch die Fahrerin bzw. den Fahrer zu berücksichtigen sind. Dies stellt eine Ausprägungsvariation dar.*
- **Eingrenzung Lösungsraum durch Konkretisierung:** Die Konkretisierung von Bedarfen, Zielen und Anforderungen führt zu einer Eingrenzung der Freiheitsgrade im Systemkonzept. Dies ermöglicht insbesondere eine fokussierte Ausarbeitung von Architekturalternativen. *Beispiel: Um eine fokussierte Entwicklung des Türkonzepts zu ermöglichen, wird das Ziel einer „maximalen Ausnutzung des Platzangebots bis zum nächsten Hindernis“ gemäß einer Ausprägungsvariation konkretisiert. Aus diesem Grund wird in der aktuellen Systemgeneration das Ziel einer „stufenlosen Verstellung des Öffnungswinkels der Türe“ verfolgt.*
- **In G_{n-1} implizit berücksichtigt:** In der Produktentwicklungspraxis kann es vorkommen, dass Aspekte des Systemkonzepts (vgl. Abschnitt 2.4.1) diskutiert und vereinbart werden, denen kein explizit dokumentierter Bedarf zugrunde liegt. Insbesondere neue, Systems-Engineering-basierte Prozesse müssen sich über mehrere Systemgenerationen hinweg etablieren (Gausemeier, Dumitrescu et al., 2013). Infolgedessen werden teilweise Bedarfe, Ziele und Anforderungen in einer neuen Systemgeneration erstmalig explizit dokumentiert, obwohl sie in

Vorgängerprojekten bereits implizit diskutiert und berücksichtigt wurden.
Beispiel: Im Sinne einer Prinzipvariation wird erstmalig der Bedarf einer „wettbewerbsfähigen Höchstgeschwindigkeit“ des Fahrzeugs aufgenommen. Dieser Bedarf wurde jedoch implizit bereits bei der Auslegung des Systemkonzepts in Vorgängerprojekten berücksichtigt.

- **Kundenfeedback:** Die kontinuierliche Berücksichtigung von (neuen) Kundenrückmeldungen ist eine zentrale Tätigkeit des Qualitätsmanagements, um die Kundenzufriedenheit langfristig sicherzustellen (INCOSE, 2015). Infolgedessen kann es in einer neuen Systemgeneration zu zusätzlichen Bedarfen, Zielen und Anforderungen kommen. *Beispiel: Aufgrund von Kundenrückmeldungen, welche auf Potenziale in der Akustik der vorherigen Systemgeneration deuten, wird das Ziel zur „Verbesserung der Störgeräusche gegenüber dem Vorgängerprojekt“ als Prinzipvariation aufgenommen.*
- **Wettbewerbsabhängigkeit:** Ziele und Anforderungen können von dem Wettbewerb abhängen, insbesondere wenn der zugrundeliegende Bedarf eine strategische Wettbewerbspositionierung beschreibt. Aus diesem Grund kann es bei geänderten Wettbewerbsprognosen (z.B. aufgrund von angepassten Kernwettbewerbern, einem geänderten Prognosezeitpunkt oder neuen Erkenntnissen) zu entsprechenden Anpassungen kommen. *Beispiel: Um den Bedarf einer „Best-in-Class² Reichweite“ auch unter Berücksichtigung neuer Wettbewerber sicherzustellen, muss das Reichweiten-Ziel der aktuellen Systemgeneration um 50 km gegenüber der vorherigen Systemgeneration erhöht werden.*

Um basierend auf diesen Analyseergebnissen ein Verständnis für den Einfluss der Variation von Bedarfen auf die Variation der abgeleiteten Ziele und Anforderungen aufzubauen, wurde das in Abbildung 6.5 (a) dargestellte Vorgehen verfolgt. Ausgehend von einem spezifischen Anwendungsfall, d.h. der Variationsart eines Bedarfs und der damit verbundenen Ursache, können die Ergebnisse der quantitativen Dokumentenanalyse gefiltert werden. Unter Zuhilfenahme der historischen Daten ergeben sich Wahrscheinlichkeiten für die Variationsanteile der abgeleiteten Ziele und Anforderungen sowie für die Verteilung der damit verbundenen Ursachen. Dies ist für ein *Fallbeispiel* im Rahmen der aktuellen Systemgeneration in Abbildung 6.5 (b) visualisiert. Basierend auf einem Bedarf, der aufgrund der verstärkten Berücksichtigung aufkommender Trends einer Prinzipvariation unterlag, zeigt sich, dass die historischen Daten eine hohe Wahrscheinlichkeit für eine Prinzipvariation der abgeleiteten Ziele und Anforderungen mit derselben Ursache indizieren.

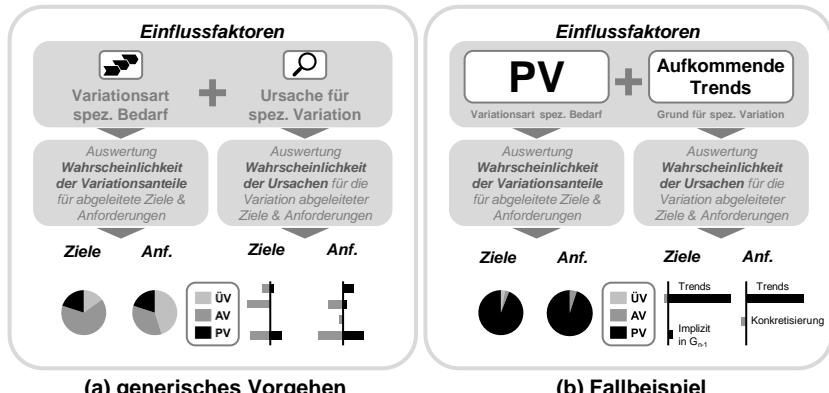


Abbildung 6.5: Vorgehen zur Analyse des Einflusses der Variation von Bedarfen auf die Variation der abgeleiteten Ziele und Anforderungen

Ein Verständnis für den Einfluss der Variation von Bedarfen auf die Variation der abgeleiteten Ziele und Anforderungen ermöglicht es den Produktentwickelnden, Effizienzen bei dem Spezifizieren von Zielen und Anforderungen zu heben. Durch die Identifikation derjenigen Bedarfe, die eine hohe Wahrscheinlichkeit für eine Ausprägungs- oder Prinzipvariation in den abgeleiteten Zielen und Anforderungen aufweisen, können diejenigen Themen identifiziert werden, denen besonderes Augenmerk beim Spezifizieren gewidmet werden muss. Gleichzeitig wird durch die Wahrscheinlichkeit der Ursachen eine mögliche Suchrichtung zur Konkretisierung der Bedarfe bereitgestellt. Hieraus kann insbesondere das weitere Vorgehen abgeleitet werden. In Abhängigkeit der Ursache können vertiefende Untersuchungen wie z.B. Trendanalysen, Wettbewerbsvergleiche oder Experteninterviews das Spezifizieren der Ziele und Anforderungen unterstützen. Zusätzlich wird durch ein solches Verständnis eine frühzeitige Abschätzung des Entwicklungsriskos sowie des Innovationspotenzials ermöglicht. Basierend auf der Gesamtmenge der Bedarfe und den damit einhergehenden Variationsgründen und Ursachen können die Variationsanteile der abgeleiteten Ziele und Anforderungen abgeschätzt werden. Ein hohes Maß an Ausprägungs- und Prinzipvariation erhöht tendenziell den Aufwand und damit das Entwicklungsrisko beim Spezifizieren der Ziele und Anforderungen, da im Zuge dessen Wissenslücken geschlossen werden müssen (Albers, Rapp et al., 2017). Gleichzeitig stellt dies jedoch einen Indikator für eine ausgeprägte Differenzierung der aktuellen Systemgeneration und damit ein hohes Innovationspotenzial dieser dar (vgl. Abschnitt 2.2.1).

Um den Produktentwickelnden des Automobilherstellers die Erkenntnisse der quantitativen Dokumentenanalyse bereitzustellen, wurde im Rahmen der vorliegenden Forschungsarbeit das sogenannte *Rate-Requirements-Reuse (R³) Framework* entwickelt, welches auf dem in Abbildung 6.5 dargestellten generischen Vorgehen beruht. Basierend auf einer interaktiven Präsentation in *Microsoft PowerPoint* können die Produktentwickelnden für einen spezifischen Anwendungsfall die, ausgehend von den historischen Daten, abgeleiteten Wahrscheinlichkeiten für die Variationsarten der Ziele und Anforderungen sowie für die zugrundeliegenden Ursachen nachvollziehen. Zur Evaluation des Frameworks wurden die im Rahmen der aktuellen Systemgeneration G_{n+1} spezifizierten Anforderungen analysiert. Zum einen wurden unter Berücksichtigung der vorherigen Systemgeneration G_n , die sich immer noch in der Entwicklung befindet, die tatsächlichen Variationsarten der einzelnen Anforderungen bestimmt. Zum anderen wurden basierend auf den zugrundeliegenden Bedarfen der G_{n+1} die Variationsarten der Anforderungen anhand des Frameworks prognostiziert. Basierend auf einem Vergleich der Ergebnisse ergab sich eine durchschnittliche Präzision des Frameworks von 64%.

Im Rahmen der quantitativen Dokumentenanalyse konnte ein Verständnis für die Variationsanteile und die zugrundeliegenden Ursachen von Bedarfen, Zielen und Anforderungen bei dem Automobilhersteller realisiert werden. Das auf dem generischen Vorgehen (vgl. Abbildung 6.5) basierende Framework und die damit einhergehende Präzision deuten darauf hin, dass ein Verständnis für den Einfluss der Variation von Bedarfen auf die Variation der abgeleiteten Ziele und Anforderungen und demzufolge in Summe ein systemgenerationsübergreifendes Bedarfs-, Ziel- und Anforderungsverständnis aufgebaut werden konnte. Mit einer Zunahme an historischen Daten steigt zudem die Präzision des Frameworks potenziell weiter an.

6.2 Evaluation des Zusammenspiels von Bedarfen, Zielen und Anforderungen

Im Rahmen der zweiten Studie der DS-II wird die Anwendbarkeits- und initiale Erfolgsevaluation des Zusammenspiels von Bedarfen, Zielen und Anforderungen beschrieben (vgl. Abschnitt 5.2). Vor diesem Hintergrund soll Forschungsfrage 2.III (vgl. Abschnitt 3.2) beantwortet werden:

FF2.III Welchen Beitrag leistet die prozessuale und methodische Unterstützung zur Steigerung der Nachvollziehbarkeit bei der Festlegung von Zielen und

Anforderungen auf der Grundlage von Bedarfen in der Automobilentwicklung?

Zur Beantwortung der Forschungsfrage wurde die Anwendbarkeit unter Berücksichtigung der in Abschnitt 4.2 identifizierten Einflussfaktoren im Live-Lab ProVIL – Produktentwicklung im virtuellen Ideenlabor mittels einer Fragebogenstudie untersucht (vgl. Abschnitt 6.2.1). Abschnitt 6.2.2 beschreibt die Ergebnisse der initialen Erfolgsevaluation, welche bei einem deutschen Automobilhersteller durchgeführt wurde. Hierbei wurden Experteninterviews in Kombination mit einer Fragebogenstudie durchgeführt. Im Rahmen einer daran anknüpfenden, quantitativen Dokumentenanalyse wurde die Nachvollziehbarkeit der Anforderungen untersucht.

Die in diesem Abschnitt ausgeführten Untersuchungen wurden in der Publikation (Albers, Kubin et al., vsl. 2025) veröffentlicht. Die Studien wurden teilweise im Rahmen der vom Autor Co-betreuten studentischen Abschlussarbeiten von Fisch (2022)¹ und Reichert (2022)¹ durchgeführt.

6.2.1 Anwendbarkeitsevaluation

Zur Untersuchung der Anwendbarkeit der Ergebnisse der Präskriptiven Studie wurde eine Fragebogenstudie im Live-Lab ProVIL – Produktentwicklung im virtuellen Ideenlabor am IPEK – Institut für Produktentwicklung durchgeführt. Der Ansatz des Live-Labs ist es dabei, für einen begrenzten Zeitraum ein Produktentwicklungsprojekt zu modellieren (Walter, Albers, Haupt & Bursac, 2016). Hierbei wird durch studentische Teams gemeinsam mit einem Partner aus der Industrie eine reale Entwicklungsaufgabe bearbeitet. Die Teams werden von Mitarbeitenden des IPEK unterstützt und betreut. Der Vorteil einer Live-Lab-Studie sind die große Menge an zur Verfügung stehenden Informationen und die Homogenität der Stichprobe, da die Teilnehmenden einen ähnlichen Erfahrungsstand aufweisen. So können im Zuge dieser studentischen Entwicklungsprojekte gezielt Prozesse und Methoden unter kontrollierten Randbedingungen untersucht werden, die hochgradig praxisrelevant sind (Albers, Bursac, Heimicke, Walter & Reiß, 2018; Albers, Walter, Wilmsen & Bursac, 2018). Abbildung 6.6 fasst den Ablauf des Live-Labs ProVIL zusammen.

¹ Unveröffentlichte, vom Autor Co-betreute Masterarbeit

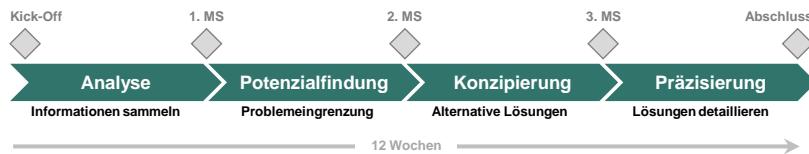


Abbildung 6.6: Ablauf des Live-Labs ProVIL – Produktentwicklung im virtuellen Ideenlabor

Im Rahmen der vorliegenden Forschungsarbeit wurde das Entwicklungsprojekt in ProVIL im Jahr 2022 begleitet. Während des Projekts arbeiteten fünf studentische Gruppen in Teilzeit über 12 Wochen gemeinsam mit einem Industriepartner an eigenen Produktkonzepten, wobei der Schwerpunkt nicht auf der automobilen Produktentwicklung lag. Im Rahmen der ersten beiden Projektphasen (Analysephase und Potenzialfindungsphase) fanden zwei Workshops statt, in denen zwei der fünf Gruppen in die prozessuale und methodische Unterstützung des Zusammenspiels von Bedarfen, Zielen und Anforderungen eingeführt wurden. Den weiteren drei Gruppen wurde aufgrund eines anderen inhaltlichen Fokus die Unterstützung nicht explizit vorgestellt. Die ersten beiden Projektphasen endeten mit der Auswahl eines Produktprofils für ein spezifisches Konzept. Während dieser Zeit hatten die Projektteilnehmenden der in die Systematik eingeführten Gruppen die Möglichkeit, ihre Ergebnisse in zweimal wöchentlich stattfindenden Sitzungen zu diskutieren und Fragen zu stellen. Anschließend bewerteten die 12 Teilnehmenden der beiden Gruppen die Systematik anhand eines Fragebogens mit sechs Aussagen. Die Zustimmung zu den einzelnen Aussagen wurde mittels einer fünfstufigen Likert-Skala mit den Ausprägungen „stimme zu“, „stimme eher zu“, „neutral“, „stimme eher nicht zu“ und „stimme nicht zu“ bewertet. Die Auswertung der Befragung ist in Abbildung 6.7 dargestellt. (Albers, Kubin et al., vsl. 2025)

Hierbei bezog sich eine der Aussagen auf den wahrgenommenen Erfolg der Systematik in Bezug auf die Nachvollziehbarkeit der Ziele und Anforderungen basierend auf den Bedarfen (E1). Die weiteren Aussagen fokussierten sich auf die Anwendbarkeit und die Akzeptanz der Methodik (A1-A5). Zur Formulierung dieser Aussagen wurden die in Abschnitt 4.2 identifizierten, fünf Anwendbarkeitsfaktoren herangezogen (vgl. Tabelle 4). Die Auswertung der Fragebogenstudie zeigt, dass die prozessuale und methodische Unterstützung die *Nachvollziehbarkeit* steigert (E1, Zustimmungsrate: 72,7%). Die mittlere Zustimmungsrate bezogen auf die Anwendbarkeit liegt mit 71,4% in einem ähnlichen Bereich. Überdurchschnittlich wird die *Flexibilität und Anpassbarkeit* (A3, Zustimmungsrate: 81,8%) und die *Transparenz und Intuitivität der Vorgehensweisen* (A5, Zustimmungsrate: 81,8%) bewertet. Der *wahrgenommene Nutzen* liegt knapp unter dem Durchschnitt (A2, Zustimmungsrate: 66,7%). Potenziale werden tendenziell in dem *Aufwand-Nutzen-*

Verhältnis (A1, Zustimmungsrate: 57,1%) und der Lehr- und Lernbarkeit (A4, Zustimmungsrate: 62,5%) gesehen. Aufgrund des Zeitrahmens und der begrenzten Komplexität der Entwicklungsaufgabe im Rahmen des Live-Labs konnte lediglich für eine geringe Anzahl an Stakeholder-Bedarfen die prozessuale und methodische Unterstützung angewendet werden. Die Teilnehmenden gaben daher am Ende der Befragung an, dass die Systematik zur Anwendung in einem komplexen Umfeld mit vielen Schnittstellen besser geeignet ist und dort das Aufwand-Nutzen-Verhältnis positiver zu beurteilen wäre. Auch die Lehr- und Lernbarkeit steigt typischerweise mit zunehmender Erfahrung im Zusammenspiel von Bedarfen, Zielen und Anforderungen sukzessive. Tiefergehende Schulungs-Maßnahmen im Vorfeld zur Anwendung können hier weiter unterstützen. (Albers, Kubin et al., vsl. 2025)

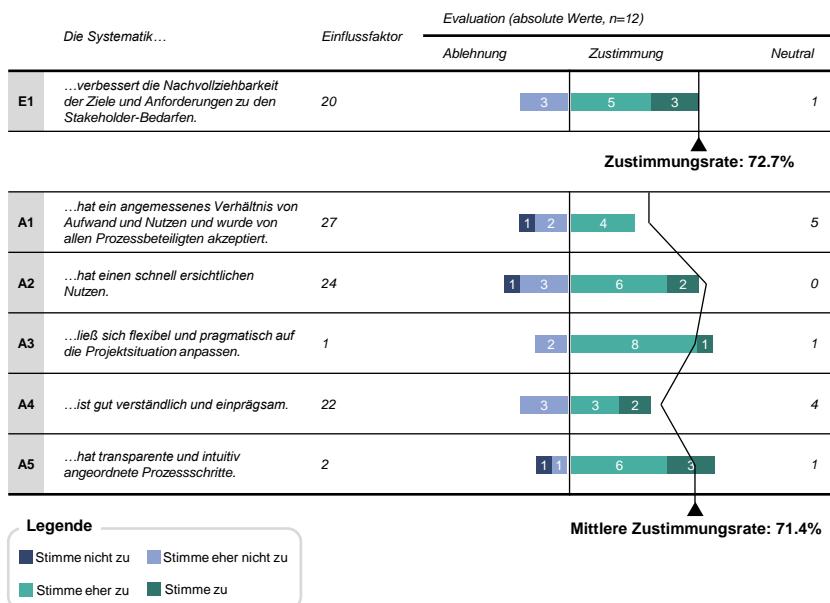


Abbildung 6.7: Auswertung der Fragebogenstudie zur Anwendbarkeit des Zusammenspiels von Bedarfen, Zielen und Anforderungen (Albers, Kubin et al., vsl. 2025)

6.2.2 Initiale Erfolgsevaluation

Um den initialen Erfolgsbeitrag des Zusammenspiels von Bedarfen, Zielen und Anforderungen zu evaluieren, wurde die Systematik bei einem deutschen

Automobilhersteller im Rahmen einer neuen Systemgeneration angewendet. Während der fünfmonatigen Phase des *Spezifizierens von Zielen* und der anschließenden sechsmonatigen Phase des *Spezifizierens von Anforderungen* waren in Summe zirka 80 Expert*innen aus verschiedenen Bereichen beteiligt (vgl. Abschnitt 5.2.1). Neben Expert*innen aus dem Bereich der Produktentwicklung waren insbesondere Stakeholder-Vertreter*innen (u.a. seitens Produktstrategie, Projektleitung, Vertrieb, Qualität, Produktion und AfterSales) involviert. In diesem Zeitraum, der ungefähr fünf Jahre vor dem Produktionsbeginn lag, wurden über 250 Stakeholder-Bedarfe erhoben und in Form von Zielen und Anforderungen spezifiziert. Hierbei wurde für jeden der Stakeholder-Bedarfe der in Abschnitt 5.2.2 eingeführte Spezifizierungs-Steckbrief befüllt. Nach der Anwendung der Systematik wurden 14 Expert*innen befragt, die in beiden Phasen operativ involviert waren. Die Befragten wurden dabei so ausgewählt, dass alle der oben genannten Bereiche abgedeckt waren. (Albers, Kubin et al., vsl. 2025)

Im ersten Teil der Experteninterviews wurde anhand einer fünfstufigen Skala ein Vergleich zwischen den Vorgehensweisen im Rahmen der Entwicklung der neuen Systemgeneration und der Vorgängergeneration vorgenommen, in der die Systematik noch nicht implementiert war. Der Vergleich wurde auf Basis der in Abschnitt 4.2 identifizierten, sieben Erfolgsfaktoren durchgeführt. Die Bewertung erfolgte durch sechs der insgesamt 14 befragten Expert*innen. Diese sechs Expert*innen waren bereits im Rahmen der Vorgängergeneration involviert, wohingegen die übrigen acht Befragten dort nicht tätig waren und demzufolge den Vergleich nicht bewerten konnten.

Die Ergebnisse dieses Vergleichs der beiden Systemgenerationen sind in Abbildung 6.8 dargestellt. Mindestens die Hälfte der Befragten sah bei der *Nachvollziehbarkeit der Anforderungsquelle* (E4) und dem *Härtegrad von Bedarfen, Zielen und Anforderungen* (E7) eine starke Verbesserung gegenüber der vorherigen Systemgeneration. Durch die Steigerung des Härtegrads konnte insbesondere auch die Transparenz der Entscheidungslage für die Projektbeteiligten und damit die Effizienz im Produktentwicklungsprozess erhöht werden. Bei der *Berücksichtigung von Qualitätskriterien* (E2) und dem *Reifegrad von Bedarfen, Zielen und Anforderungen* (E6) stellten alle Befragten mindestens eine moderate Verbesserung fest. Der *Grad an interdisziplinärem Austausch* (E3) und die *Effizienz der Entscheidungsfindung* (E5) wurde von der Mehrzahl der Expert*innen als unverändert gegenüber der Vorgängergeneration bewertet. In den Interviews wurde jedoch betont, dass insbesondere der Grad an interdisziplinärem Austausch bereits im vorherigen Projekt auf einem hohen Niveau lag. (Albers, Kubin et al., vsl. 2025)

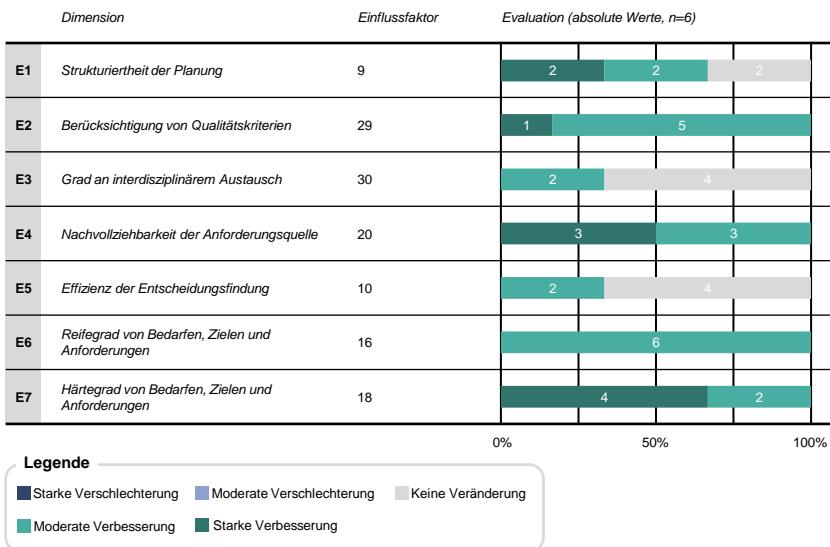


Abbildung 6.8: Auswertung der Experteninterviews zum initialen Erfolgsbeitrag beim Zusammenspiel von Bedarfen, Zielen und Anforderungen (Albers et al., vsl. 2023)

Im zweiten Teil der Interviews wurden alle 14 Teilnehmenden befragt, um konkret zu identifizieren, in welchen Aspekten die Systematik einen Mehrwert geschaffen hat und an welchen Stellen Verbesserungspotenziale gesehen werden. Als größte Mehrwerte der Systematik wurden eine erhöhte Transparenz der Bedarfe, Ziele und Anforderungen inkl. der dazugehörigen Entscheidungslage, eine frühzeitige Berücksichtigung relevanter Themen, ein verbessertes gemeinsames Verständnis der Bedarfssituation sowie eine nachvollziehbare Begründung der Anforderungen und Architekturlösungen durch die zugrundeliegenden Bedarfe identifiziert. Weitere Potenziale wurden in der verstärkten Berücksichtigung neuer Unternehmensstrategien, der Integration weiterer Bereiche im Rahmen der Stakeholder-Vertreter, der regelmäßigen Kommunikation der Themen mit der höchsten Projektrelevanz sowie dem Anspruch auf Vollständigkeit hinsichtlich der betrachteten Bedarfe identifiziert. Zudem stellte die große Anzahl der Bedarfe eine Herausforderung dar, da ein Gesamtüberblick über das Projekt erschwert wurde. Die Priorisierung der Themen anhand ihrer Konzeptrelevanz (vgl. Abschnitt 5.2.1) konnte die Anzahl an Bedarfen die gleichzeitig bearbeitet werden mussten reduzieren und wurde daher als wichtige Unterstützung der Produktentwickelnden hervorgehoben. (Albers, Kubin et al., vsl. 2025)

Die Nachvollziehbarkeit der Ziele und Anforderungen auf Grundlage der Bedarfe ist dabei von besonderer Relevanz für den Erfolg der Systematik (Kubin et al., 2022). Sie ist nicht nur das Fundament einer bedarfsoorientierten Systemgenerationsentwicklung, sondern trägt durch die zusätzliche Transparenz insbesondere auch dazu bei, die Qualität der Referenzbasis für zukünftige Systemgenerationen zu erhöhen. Zur vertieften Evaluation der *Nachvollziehbarkeit der Anforderungsquelle* (vgl. Einflussfaktor 20, Abschnitt 4.2) wird daher ein Vergleich zwischen zwei Systemgenerationen herangezogen. Hierzu wurde bei demselben Automobilhersteller eine quantitative Dokumentenanalyse durchgeführt. Zum einen wurde die Spezifikation auf Systemebene der Fahrzeuggeneration G_n untersucht, bei der die Systematik noch nicht implementiert war, und zum anderen die analoge Spezifikation des Nachfolgers G_{n+1} , bei dem das Zusammenspiel von Bedarfen, Zielen und Anforderungen prozessual und methodisch unterstützt wurde. Dabei wurden alle in der Spezifikation festgehaltenen Anforderungen auf eine explizit dokumentierte Quelle in Form eines Stakeholder-Bedarfs überprüft. Zusätzlich wurde berücksichtigt, ob der antizipierte Nutzen aus der Formulierung des Bedarfs hervorgeht. (Albers, Kubin et al., vsl. 2025)

Die Ergebnisse des Vergleichs der beiden Systemgenerationen sind in Abbildung 6.9 dargestellt.

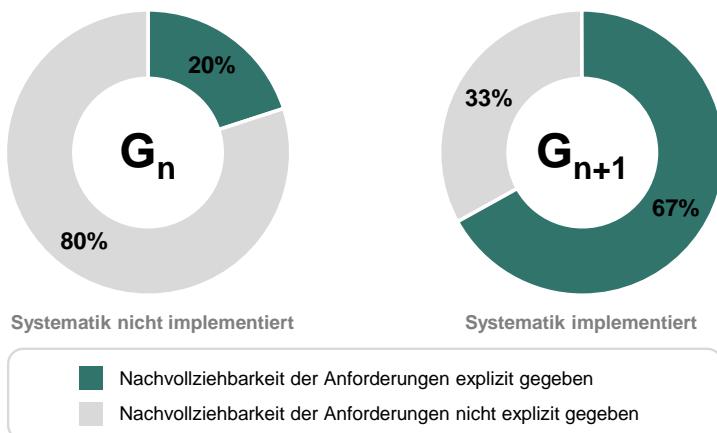


Abbildung 6.9: Auswertung der Nachvollziehbarkeit der Anforderungen des Automobilherstellers auf Systemebene mit und ohne Implementierung der Systematik (Albers, Kubin et al., vsl. 2025)

Es zeigt sich, dass der Anteil der nachvollziehbaren Anforderungen auf Systemebene von 20% in der Fahrzeuggeneration G_n auf zirka 67% in der G_{n+1} gestiegen ist. Dieser Anteil wird in zukünftigen Systemgenerationen tendenziell weiter zunehmen, da in der G_{n+1} aus Effizienzgründen einige etablierte Anforderungen aus dem Vorgänger übernommen wurden, ohne den dazugehörigen Bedarf explizit zu dokumentieren. (Albers, Kubin et al., vsl. 2025)

6.3 Evaluation der Wiederverwendung von Zielen und Anforderungen auf Basis von Bedarfen

In der dritten Studie der DS-II werden die Anwendbarkeit und der initiale Erfolgsbeitrag der prozessualen Unterstützung zur Wiederverwendung von Zielen und Anforderungen auf Basis von Bedarfen untersucht (vgl. Abschnitt 5.3). Dabei soll Forschungsfrage 3.III (vgl. Abschnitt 3.2) beantwortet werden:

FF3.III Können durch die Anwendung der prozessualen Unterstützung in der Automobilentwicklung potenzielle Fehler vermieden werden?

Zur Beantwortung der Forschungsfrage wurde die prozessuale Unterstützung im Anforderungsmanagement eines deutschen Automobilherstellers angewendet. Die darauf aufbauende Anwendbarkeitsevaluation wurde anhand einer teilnehmenden Beobachtung vorgenommen und wird in Abschnitt 6.3.1 beschrieben. Um den initialen Erfolgsbeitrag zu untersuchen, wurde anhand einer quantitativen Dokumentenanalyse bei dem Automobilhersteller untersucht, wie viele potenzielle Fehler durch die Anwendung der Systematik vermieden werden konnten (vgl. Abschnitt 6.3.2).

Die in diesem Abschnitt ausgeführten Untersuchungen wurden in der Publikation (Albers, Kubin et al., 2022) veröffentlicht. Die Studien wurden teilweise im Rahmen der vom Autor Co-betreuten studentischen Abschlussarbeit von Eckhardt (2021)¹ durchgeführt.

¹ Unveröffentlichte, vom Autor Co-betreute Masterarbeit

6.3.1 Anwendbarkeitsevaluation

Um die Anwendbarkeit der Ergebnisse der Präskriptiven Studie zu untersuchen, wurde der beschriebene Referenzprozess (vgl. Abschnitt 5.3.1) im Rahmen der Frühen Phase einer Systemgeneration G_{n+1} eines deutschen Automobilherstellers angewandt. Hierzu wurde die Systematik über einen Zeitraum von vier Monaten auf der Systemebene 2 für ein ausgewähltes Referenzsystemelement (RSE) implementiert. Dieser Zeitraum lag ungefähr vier Jahre vor dem Produktionsbeginn. Das ausgewählte RSE stellt dabei ein projektübergreifend gültiges Anforderungsbündel dar, welches qualitätsbezogene Anforderungen zusammenfasst, die aus den Erkenntnisgewinnen verschiedener Vorgängerprojekte resultieren. Für die im Rahmen der Anwendung betrachtete Systemebene werden 260 wiederzuverwendende Anforderungen in diesem Anforderungsbündel beschrieben. Weitere, auf derselben Systemebene wiederzuverwendende Anforderungen, werden in separaten Anforderungsbündeln spezifiziert. Die operativen Anwender der prozessualen Unterstützung bei der Wiederverwendung von Zielen und Anforderungen auf Basis von Bedarfen im Pilotbeispiel verfügen dabei über Expertise im Anforderungsmanagement.

Im Rahmen einer teilnehmenden Beobachtung wurde die Anwendung der Systematik bei dem Automobilhersteller begleitet. Anhand der drei subjektiven *Akzeptanzaspekte* (Präsentation, Prozess, Performance) nach Albers, Lohmeyer und Radimersky (2012) werden die aus der Beobachtung resultierenden Erkenntnisse hinsichtlich der Anwendbarkeit der prozessualen Unterstützung im Folgenden diskutiert:

- **Präsentation:** Das Vorgehen wurde zu Beginn der Anwendung der interdisziplinären Gruppe an Produktentwickelnden erläutert. Dabei wurde der Fokus auf die Vermittlung der Ziele der einzelnen Phasen gelegt. Die auszuführenden Tätigkeiten wurden im Vorfeld nicht detailliert besprochen, sondern während der Umsetzung der Systematik an konkreten Beispielen demonstriert. Während der gesamten Anwendung wurden von den Produktentwickelnden nur gelegentlich Fragen zum grundlegenden Ansatz gestellt. Ein regelmäßiger Verweis auf die detaillierten Beschreibungen der entsprechenden Phase war nicht erforderlich. Darüber hinaus wurden keine Diskrepanzen im Verständnis zwischen den verschiedenen Anwender*innen festgestellt.
- **Prozess:** Die Akzeptanz der prozessualen Unterstützung war bei den Produktentwickelnden grundsätzlich durch ein klares Bewusstsein für das übergreifende Ziel gegeben. Darüber hinaus wurde die Akzeptanz durch inhaltliche Rückfragen, eine proaktive Teilnahme an den durchgeführten Terminen und eine konsequente Orientierung an der vorgeschlagenen Systematik während der Anwendung deutlich. Über den gesamten

Zeitraum kamen keine Ziel- oder Grundsatzdiskussionen in Bezug auf die prozessuale Unterstützung auf. Zudem blieb die Anzahl der Teilnehmenden über den Verlauf der Anwendung konstant, was ebenfalls ein Indikator für die Akzeptanz des Prozesses ist.

- **Performance:** Der Großteil der Anforderungen des Anforderungsbündels konnte mit geringem Zeitaufwand in der aktuellen Systemgeneration G_{n+1} wiederverwendet werden. Vereinzelt wurde jedoch festgestellt, dass mehrere Iterationsschleifen notwendig waren. Dies war insbesondere bei Anforderungen der Fall, die eine Vielzahl von Wechselwirkungen und damit ein hohes Potenzial für Zielkonflikte aufweisen. Insgesamt ist der Zeitaufwand für die Anwendung der prozessualen Unterstützung zur Wiederverwendung von Zielen und Anforderungen auf Basis von Bedarfen im Vergleich zu dem bisher etablierten Copy-and-Paste-Vorgehen als höher einzustufen.

6.3.2 Initiale Erfolgsevaluation

Der initiale Erfolgsbeitrag wird auf Basis der in Abschnitt 6.3.1 beschriebenen Anwendung der prozessualen Unterstützung zur Wiederverwendung von Zielen und Anforderungen auf Basis von Bedarfen bei dem Automobilhersteller evaluiert. Zu diesem Zweck wurden die vier in Abschnitt 4.3 identifizierten Kontingenzfaktoren (KF) herangezogen, die potenzielle Fehler bei der Wiederverwendung von Zielen und Anforderungen beschreiben: die *Bedarfssituation* (KF A), die *Systemzuordnung* (KF B), die *Anforderungswirkketten* (KF C) und das *Systemkonzept* (KF D).

Anhand einer quantitativen Dokumentenanalyse wurde untersucht, wie oft durch die Systematik das Auftreten eines Kontingenzfaktors vermieden werden konnte. Dazu wurde die ursprüngliche Übersicht der auf Systemebene 2 wiederzuverwendenden Anforderungen des Anforderungsbündels herangezogen, da dort alle Entscheidungen, die im Rahmen der Anwendung getroffen wurden, transparent dokumentiert waren. Hieraus wurde insbesondere ersichtlich, ob eine Anforderung aufgrund einer geänderten Bedarfssituation abgelehnt wurde (KF A), ob die Systemzuordnung einer Anforderung angepasst werden musste (KF B), ob eine Anforderung keine Parent-Anforderung auf der darüberliegenden Ebene hatte (KF C) oder ob eine Anforderung aufgrund des bestehenden Systemkonzepts angepasst bzw. abgelehnt werden musste (KF D). Bei erfolgreicher Identifikation eines solchen potenziellen Anforderungsfehlers lässt sich auf eine Qualitätssteigerung schließen und eine damit verbundene Reduktion von Entwicklungszeit und -kosten. Dies liegt, wie in der *Zehner-Regel* beschrieben, daran, dass daraus resultierende mögliche Fehler im späteren Entwicklungsprozess bereits an ihrem Ursprung, den spezifizierten Anforderungen, vermieden wurden (Alshazly, Elfatatty & Abougabal, 2014).

Das Ergebnis der quantitativen Dokumentenanalyse ist in Abbildung 6.10 dargestellt. Insgesamt konnten 151 der 260 wiederzuverwendenden Anforderungen auf der Systemebene 2 übernommen werden. Die restlichen 109 Anforderungen wurden anderen Systemebenen zugeordnet und daher in einem späteren Prozessdurchlauf berücksichtigt. Für die 151 Anforderungen konnte das Auftreten von Kontingenzfaktoren in 159 Fällen abgewendet werden, wodurch im Durchschnitt je Anforderung mehr als ein potenzieller Anforderungsfehler vermieden wurde. Dabei ist zu beachten, dass für eine Anforderung mehrere Kontingenzfaktoren gleichzeitig auftreten können. (Albers, Kubin et al., 2022)

Trotz des erhöhten Zeitaufwands bestätigen diese Ergebnisse die Vorteile der prozessualen Unterstützung zur Wiederverwendung von Zielen und Anforderungen auf Basis von Bedarfen gegenüber dem bisher bei dem Automobilhersteller etablierten Copy-and-Paste-Vorgehen. (Albers, Kubin et al., 2022)

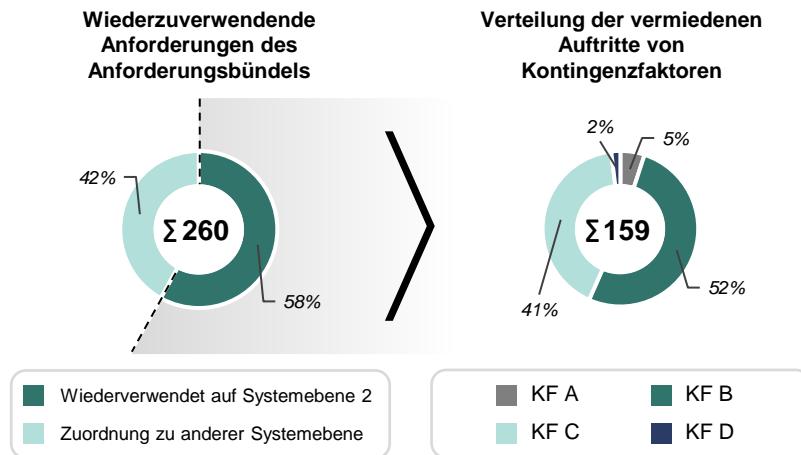


Abbildung 6.10: Auswertung der vermiedenen Auftritte von Kontingenzfaktoren bei der Wiederverwendung von Zielen und Anforderungen auf Basis von Bedarfen (Albers, Kubin et al., 2022)

7 Zusammenfassung und Ausblick

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse sowie die daraus abgeleiteten Erkenntnisse der vorliegenden Forschungsarbeit zusammengefasst. Darauf aufbauend werden im Ergebnistransfer und Ausblick mögliche weiterführende Forschungsaktivitäten skizziert.

7.1 Zusammenfassung

Automobilhersteller müssen im Rahmen der Produktentwicklung auf eine zunehmend komplexe Bedarfssituation reagieren. Megatrends wie Digitalisierung, Personalisierung und Nachhaltigkeit führen in Kombination mit einer verstärkten Berücksichtigung von Wachstumsmärkten zu einer steigenden Anzahl an Bedarfen seitens der Stakeholder (u.a. Kunden, Anwender und Anbieter). Aus diesem Grund ist eine durchgängige Bedarfsoorientierung essenziell für den zukünftigen Markterfolg von Unternehmen. Gleichzeitig resultieren bedingt durch den Einsatz neuer Schlüsseltechnologien, z.B. der Elektromobilität und der digitalen Vernetzung, komplexe Abhängigkeiten in der Entwicklung. Diese zunehmende Markt- und Entwicklungskomplexität stellt Produktentwickelnde bei dem nachvollziehbaren Spezifizieren der Ziele und Anforderungen anhand von Bedarfen vor erheblichen Herausforderungen (vgl. Kapitel 1).

Zur Klärung des *Forschungsgegenstands* wurde in Kapitel 2 die relevante Literatur untersucht. Ein *systemisches Verständnis* ist dabei essenziell für einen erfolgreichen Umgang mit Komplexität in der interdisziplinären Produktentwicklung (vgl. Abschnitt 2.1). Bestehende Problemlösungsansätze, wie z.B. die SPALTEN-Problemlösemethodik, und Modelle der Produktentstehung wie bspw. das iPeM – integrierte Produktentstehungsmodell bieten initiale Leitplanken zur Beschreibung von Vorgehensweisen. Gleichzeitig erschließt das *Modell der SGE – Systemgenerationsentwicklung* nach ALBERS (vgl. Abschnitt 2.2) als praxisnahes und wissenschaftlich begründetes Beschreibungsmodell Potenziale zur gezielten Unterstützung bei der Entwicklung (innovativer) Produkte. Anknüpfend daran können die im *SE – Systems Engineering* beschriebenen Prozesse und Methoden herangezogen werden, um eine konsequente Bedarfsoorientierung in der Produktentwicklung zu unterstützen (vgl. Abschnitt 2.3). Die im SE beschriebenen Vorgehensweisen sind dabei ausreichend abstrakt formuliert, dass sie auf verschiedene Anwendungsbereiche transferierbar sind, für die konkrete

Anwendung im automobilen Umfeld fehlt es jedoch an Handlungsvorgaben. Aus diesem Grund muss das SE zum ASE – *Advanced Systems Engineering* erweitert und durch menschzentrierte Prozesse und Methoden in seiner Anwendung unterstützt werden. Indessen offenbarte die Literaturrecherche, dass auch weitere bestehende Ansätze zum Spezifizieren von Zielen und Anforderungen anhand von Bedarfen im Rahmen der *Zielssystembildung* Limitationen aufweisen (vgl. Abschnitt 2.4). Insbesondere in der Synthese einer übergreifenden formalen Definition des Begriffs der Stakeholder-Bedarfe zeigt die Literatur Lücken auf.

Zur weiteren Konkretisierung und Strukturierung der Forschungslücke wurden aufbauend auf einer *teilnehmenden Beobachtung* im Anforderungsmanagement eines Automobilherstellers *Experteninterviews* durchgeführt (vgl. Abschnitt 2.5). Hieraus wurden die drei, in Abbildung 7.1 dargestellten, Herausforderungen bei dem Spezifizieren von Zielen und Anforderungen anhand von Bedarfen identifiziert.

- | | | |
|----------|---|---|
| 1 | (Systemgenerationsübergreifendes) Bedarfs-, Ziel- und Anforderungsverständnis |  |
| 2 | Systems-Engineering-basiertes Zusammenspiel von Bedarfen, Zielen und Anforderungen |  |
| 3 | Systems-Engineering-basierte Wiederverwendung von Zielen und Anforderungen auf Basis von Bedarfen |  |

Abbildung 7.1: Herausforderungen bei dem Spezifizieren von Zielen und Anforderungen anhand von Bedarfen (vgl. Abschnitt 2.5)

Basierend auf der Forschungslücke, den identifizierten Herausforderungen in der automobilen Entwicklungspraxis und dem daraus abgeleiteten Forschungsbedarf wurde die folgende Zielsetzung der vorliegenden Forschungsarbeit hergeleitet (vgl. Abbildung 7.2 und Abschnitt 3.1).

 **Ziel** der vorliegenden Forschungsarbeit ist es, die **Produktentwickelnden** von Automobilherstellern bei dem Systems-Engineering-basierten **Spezifizieren von Zielen und Anforderungen anhand von Bedarfen** prozessual und methodisch im **Modell der SGE – Systemgenerationsentwicklung** zu unterstützen.

Abbildung 7.2: Zielsetzung der vorliegenden Forschungsarbeit (vgl. Abschnitt 3.1)

Dieses Forschungsziel wurde durch drei Forschungshypothesen, die sich an den identifizierten Herausforderungen orientieren, fokussiert und anhand von

Forschungsfragen weiter konkretisiert (vgl. Abschnitt 3.2). Zur Beantwortung dieser Forschungsfragen wurde die Forschungsarbeit gemäß der Design Research Methodology (DRM) in eine *Deskriptive Studie I* (DS-I), eine *Präskriptive Studie* (PS) und eine *Deskriptive Studie II* (DS-II) gegliedert (vgl. Abschnitt 3.4). Die Untersuchungen innerhalb der DRM-Phasen wurden dabei anhand der drei Herausforderungen strukturiert. Die daraus resultierenden Knergebnisse und -erkenntnisse werden im Folgenden kurz zusammengefasst.

Deskriptive Studie I (DS-I, vgl. Abbildung 7.3) – Kapitel 4:



Abbildung 7.3: Vorgehen im Rahmen der Deskriptiven Studie I (vgl. Kapitel 4)

Ausgehend von einer zweistufigen *Delphi-Studie* im Anforderungsmanagement eines Automobilherstellers wurden in Kapitel 4 insgesamt 11 initiale Schlüsselfaktoren identifiziert, die sich jeweils einer der drei Herausforderungen zuordnen ließen. Die damit verbundene Relevanzbewertung ließ keine Aussage zu statistisch signifikanten Unterschieden zwischen den Schlüsselfaktoren zu. Infolgedessen wurden alle Faktoren gleichermaßen als Basis für die darauf aufbauenden vertiefenden Studien herangezogen.

In Abschnitt 4.1 wurde ein tiefgreifendes Verständnis für Herausforderung 1 anhand einer *systematischen Literaturrecherche* aufgebaut. Ziel der Literaturrecherche war die Identifikation von Charakteristika zur Definition und Formulierung von Stakeholder-Bedarfen in der Systems-Engineering-Literatur. Es zeigte sich, dass Bedarfe lösungsoffen beschrieben werden und damit unabhängig von der (technischen) Lösung sind. Zudem sind sie unverbindlich (im Sinne eines geringen *Härtegrads*) und weisen oft einen hohen Abstraktionsgrad (im Sinne eines geringen *Reifegrads*) auf. Erst bei der Konkretisierung der Bedarfe in Form von Zielen und Anforderungen wird die Verbindlichkeit hergestellt. Sie können dabei sowohl technische als auch ökonomische Erwartungen umfassen und einem (Sub-)System zugeordnet werden. Bezüglich der Formulierung von Stakeholder-Bedarfen geht

aus der systematischen Literaturrecherche hervor, dass sie möglichst eindeutig aus der Perspektive der Stakeholder beschrieben werden sollten. Zudem wird betont, dass Bedarfe häufig einen qualitativen Charakter aufweisen.

Im Rahmen einer *teilnehmenden Beobachtung* im Anforderungsmanagement eines Automobilherstellers sowie darauf aufbauenden *Experteninterviews* wurde Herausforderung 2 untersucht (vgl. Abschnitt 4.2). Basierend auf der teilnehmenden Beobachtung konnten sieben Kernpotenziale beim Zusammenspiel von Bedarfen, Zielen und Anforderungen identifiziert werden: die Qualität des Prozesses, die Standardisierung, die Effizienz, die Effektivität, die Nutzung von Referenzen, die Menschzentrierung und die Qualität der Inhalte. Aus den daran anknüpfenden Experteninterviews gingen 30 Einflussfaktoren hervor, die jeweils einem der Kernpotenziale zugeordnet wurden. Unter Berücksichtigung der Wechselwirkungen zwischen den Einflussfaktoren wurden ein *Referenzmodell* aufgebaut und eine Einordnung in eine *Vester'sche Einflussmatrix* vorgenommen. Ausgehend von der daraus resultierenden Aktiv- und Passivsumme wurden die Einflussfaktoren kategorisiert. Sechs Einflussfaktoren stellen aktive Faktoren (z.B. „Durchgängigkeit zwischen Anforderungen und Architektur“) dar, die bei der Synthese einer prozessualen und methodischen Unterstützung im Rahmen der Präskriptiven Studie zu berücksichtigen waren. Ebenfalls jeweils sechs Einflussfaktoren wurden als passive (z.B. „Nachvollziehbarkeit der Anforderungsquelle“) und kritische Faktoren (z.B. „Reifegrad von Bedarfen, Zielen und Anforderungen“) charakterisiert und bildeten die Basis für die Evaluation im Rahmen der Deskriptiven Studie II. Die verbleibenden 12 tragen Faktoren wurden aufgrund ihrer schwachen Wechselwirkungen im weiteren Verlauf der Forschungsarbeit vernachlässigt.

Herausforderung 3 wurde in Abschnitt 4.3 anhand einer *teilnehmenden Beobachtung* im Anforderungsmanagement eines Automobilherstellers sowie einer *systematischen Literaturrecherche* untersucht. Basierend auf der teilnehmenden Beobachtung wurden potenzielle Fehler, sogenannte Kontingenzfaktoren (KF), bei der Wiederverwendung von Zielen und Anforderungen auf Basis von Bedarfen analysiert. Neben einer unzureichenden Berücksichtigung einer geänderten Bedarfssituation im Rahmen der neuen Systemgeneration (KF A) kann auch die Nichtbeachtung einer geänderten Zuordnung der wiederzuverwendenden Anforderungen zu den (Sub-)Systemen der logischen Systemarchitektur (KF B) zu Fehlern führen. Darüber hinaus kann eine unzulängliche Berücksichtigung des Einflusses der Anforderungen auf die umliegenden (Sub-)Systeme (KF C) sowie auf das bestehende Systemkonzept (KF D) zu Zielkonflikten in der Entwicklung führen, die womöglich erst spät im Produktentstehungsprozess transparent werden und zu kostenintensiven Änderungsschleifen führen können. Die daran anknüpfende systematische Literaturrecherche verfolgte das Ziel, Einflussfaktoren für die

Wiederverwendung von Zielen und Anforderungen auf Basis von Bedarfen zu identifizieren. Hierbei konnten zum einen die initialen Schlüsselfaktoren der Herausforderung 3 bestätigt und konkretisiert werden (unterstützende Erkenntnisse) und zum anderen weitere Einflussfaktoren abgeleitet werden (ergänzende Erkenntnisse). Diese ergänzenden Erkenntnisse umfassen die Notwendigkeit zur Prüfung der Qualität des Referenzsystemelements (RSE), die Berücksichtigung unterschiedlich umfangreicher RSE und die Abstraktion wiederzuwendender Anforderungen als möglichen Lösungsansatz bei Zielkonflikten.

Zum Abschluss der DS-I wurden die Studienergebnisse in Form von Unterstützungsfaktoren je Forschungshypothese bzw. Herausforderung verdichtet, welche im Rahmen der Präskriptiven Studie zu berücksichtigen waren (vgl. Abschnitt 4.4).

Präskriptive Studie (PS, vgl. Abbildung 7.4) – Kapitel 5:



Abbildung 7.4: Vorgehen im Rahmen der Präskriptiven Studie (vgl. Kapitel 5)

Als erster Kernbestandteil der Präskriptiven Studie wurde in Abschnitt 5.1 Herausforderung 1 adressiert. Infolgedessen wurde der Zielsystem-Elementtyp des *Stakeholder-Bedarfs* in der KaSPro – Karlsruher Schule für Produktentwicklung im Sinne eines Beitrags zu einer gemeinsamen Sprache definiert als „[...] eine oft abstrakte technische oder ökonomische Erwartung an ein (Sub)-System, unabhängig von der technischen Lösung und der Zielerreichung.“. Anhand der Dimensionen des Härtegrads und des Reifegrads konnte anschließend eine Abgrenzung von Stakeholder-Bedarfen (Härtegrad: niedrig, Reifegrad: niedrig) zu Zielen (Härtegrad: hoch, Reifegrad: niedrig) und Anforderungen (Härtegrad: hoch, Reifegrad: hoch) vorgenommen werden. Darauf aufbauend wurde die Satzbauschablone „*Der <Stakeholder> möchte <Erwartung>, um <Nutzen>.*“ zur Formulierung von Stakeholder-Bedarfen vorgeschlagen. Diese Art der Modellierung von Stakeholder-Bedarfen sowie bestehende Satzbauschablonen zur Formulierung von Zielen und Anforderungen ermöglichten abschließend eine Beschreibung der Variationsarten von Bedarfen, Zielen und Anforderungen im Modell der SGE.

Der in Abschnitt 5.2 entwickelte *Referenzprozess* zum Zusammenspiel von Bedarfen, Zielen und Anforderungen (vgl. Herausforderung 2) besteht aus zwei Phasen, dem „Spezifizieren von Zielen“ und dem „Spezifizieren von Anforderungen“, und wird in seiner Anwendung durch den sogenannten *Spezifizierungs-Steckbrief methodisch unterstützt*. Diese prozessuale und methodische Unterstützung beschreibt folglich Aktivitätsmuster bezogen auf die Domäne der Automobilentwicklung.

Anhand eines *Referenzprozesses* wurde die Wiederverwendung von Zielen und Anforderungen auf Basis von Bedarfen (vgl. Herausforderung 3) in Abschnitt 5.3 unterstützt. Dem grundlegenden Ansatz der prozessualen Unterstützung folgend werden die einzelnen System-spezifischen, wiederzuverwendenden Anforderungen als mögliche Lösungselemente für das Spezifizieren der Anforderungen der übergeordneten Systemebene herangezogen. Dieses Vorgehen wird durch vier Phasen beschrieben: die Bestätigung des potenziellen RSE für das Referenzsystem (Nullphase), die initiale Gültigkeitsplausibilisierung der wiederzuverwendenden Anforderungen (Basisphase), die Analyse der Anforderungswirkketten (Kernphase I) und die technisch konsistente Übernahme im Abgleich mit dem bestehenden Systemkonzept (Kernphase II). Dieser Referenzprozess beschreibt Aktivitätsmuster bezogen auf die Domäne der Automobilentwicklung.

Zum Abschluss der Präskriptiven Studie wurden die im Rahmen der DS-I identifizierten Unterstützungsfaktoren anhand der synthetisierten Systematiken verifiziert (vgl. Abschnitt 5.4).

Deskriptive Studie II (DS-II, vgl. Abbildung 7.5) – Kapitel 6:



Abbildung 7.5: Vorgehen im Rahmen der Deskriptiven Studie II (vgl. Kapitel 6)

Die auf Herausforderung 1 bezogenen Ergebnisse der Präskriptiven Studie wurden in Abschnitt 6.1 hinsichtlich ihrer Anwendbarkeit sowie ihres initialen Erfolgsbeitrags evaluiert. In der Anwendbarkeitsevaluation wurde die entwickelte Definition von Stakeholder-Bedarfen in der KaSPro im Rahmen einer *teilnehmenden Beobachtung* im Anforderungsmanagement eines Automobilherstellers an den Beobachtungen in der Produktentwicklungspraxis reflektiert. Hierbei konnten die meisten Charakteristika der Definition beobachtet werden, die „ökonomischen Erwartungen“ wurden bei dem Automobilhersteller jedoch nicht in formalisierten Stakeholder-Bedarfen erfasst. Die initiale Erfolgsevaluation untersuchte anhand einer *Fragebogenstudie* bei einem Werkzeugmaschinenhersteller, ob die Definition das Bedarfsverständnis verbessern kann. Hierzu wurden die Teilnehmenden in drei Gruppen aufgeteilt und gebeten, diejenigen Aussagen zu identifizieren, die Stakeholder-Bedarfe darstellen. Der ersten Gruppe wurde als Hilfestellung die Bedarfs-Definition aus dem Systems Engineering Handbook bereitgestellt und der zweiten Gruppe die im Rahmen der vorliegenden Forschungsarbeit entwickelte Definition. Die dritte Gruppe diente als Kontrollgruppe und erhielt keine Definition. Die Auswertung der Fragebogenstudie zeigt, dass die zweite Gruppe die höchste Sensitivität hatte, d.h. mit einer Trefferquote von 65,3% die meisten Bedarfe korrekt identifizierte. Um zu evaluieren, ob durch die Ergebnisse der Präskriptiven Studie ein systemgenerationsübergreifendes Bedarfs-, Ziel- und Anforderungsverständnis aufgebaut werden kann, wurde eine *quantitative Dokumentenanalyse* bei einem deutschen Automobilhersteller durchgeführt. Ziel der Analyse war es, ein Verständnis für die Variationsanteile und die zugrundeliegenden Ursachen von Bedarfen, Zielen und Anforderungen sowie für den Einfluss der Variation von Bedarfen auf die Variation der abgeleiteten Ziele und Anforderungen aufzubauen. Zu diesem Zweck wurde ein Framework entwickelt, welches für einen spezifischen Anwendungsfall, d.h. die Variationsart eines Bedarfs und die damit verbundene Ursache, die auf den historischen Daten basierenden Wahrscheinlichkeiten für die Variationsanteile der abgeleiteten Ziele und Anforderungen beschreibt. Ein Abgleich der Prognosen des Frameworks mit den tatsächlichen Variationsarten der Anforderungen im Rahmen einer aktuellen Systemgeneration des Automobilherstellers ergab eine durchschnittliche Präzision von 64%. Dies deutet darauf hin, dass ein systemgenerationsübergreifendes Bedarfs-, Ziel- und Anforderungsverständnis aufgebaut werden konnte.

Die prozessuale und methodische Unterstützung beim Zusammenspiel von Bedarfen, Zielen und Anforderungen (vgl. Herausforderung 2) wurde in Abschnitt 6.2 evaluiert. Zur Untersuchung der Anwendbarkeit wurde eine *Fragebogenstudie* im Live-Lab ProVIL – Produktentwicklung im virtuellen Ideenlabor durchgeführt. Insbesondere die Flexibilität und Anpassbarkeit sowie die Transparenz und Intuitivität der Vorgehensweisen wurden dabei überdurchschnittlich gut bewertet.

Zur Evaluation des initialen Erfolgsbeitrags der Systematik wurde die prozessuale und methodische Unterstützung bei einem Automobilhersteller im Rahmen einer neuen Systemgeneration angewendet. Nach der Anwendung wurde anhand von *Experteninterviews* ein Vergleich mit der Vorgängergeneration, in der die Systematik noch nicht implementiert war, vorgenommen. Bei der Nachvollziehbarkeit der Anforderungsquelle und dem Härtegrad von Bedarfen, Zielen und Anforderungen wurde eine starke Verbesserung gesehen. Auch bei der Berücksichtigung von Qualitätskriterien und dem Reifegrad von Bedarfen, Zielen und Anforderungen stellten alle Befragten mindestens eine moderate Verbesserung fest. Aufgrund der besonderen Relevanz der Nachvollziehbarkeit der Anforderungsquelle wurde eine zusätzliche *quantitative Dokumentenanalyse* bei dem Automobilhersteller durchgeführt, im Zuge derer ebenfalls die beiden Systemgenerationen (mit und ohne Anwendung der Systematik) verglichen wurden. Hierbei wurde untersucht, welcher Anteil der Anforderungen auf Systemebene auf einen explizit dokumentierten Bedarf zurückgeführt werden konnte. Es zeigte sich, dass der Anteil der nachvollziehbaren Anforderungen von 20% in der Vorgängergeneration durch die Anwendung der Systematik auf zirka 67% in der aktuellen Systemgeneration erhöht werden konnte.

Zur Evaluation der prozessuellen Unterstützung der Wiederverwendung von Zielen und Anforderungen auf Basis von Bedarfen (vgl. Herausforderung 3) in Abschnitt 6.3 wurde der beschriebene Referenzprozess im Rahmen der Frühen Phase einer Systemgeneration eines Automobilherstellers für ein spezifisches RSE angewandt. Basierend auf einer *teilnehmenden Beobachtung* wurden die drei subjektiven *Akzeptanzaspekte* Präsentation, Prozess und Performance im Sinne einer Anwendbarkeitsevaluation diskutiert. Es zeigte sich, dass die Anwender*innen ein homogenes Verständnis für das Vorgehen aufwiesen und dass jederzeit eine hohe Akzeptanz für das Vorgehen bestand. Gleichzeitig ist jedoch der Zeitaufwand für die Anwendung der prozessuellen Unterstützung höher als bei dem bisher etablierten Copy-and-Paste-Vorgehen bei der Wiederverwendung von Zielen und Anforderungen. Zur initialen Erfolgsevaluation wurde anhand einer *quantitativen Dokumentenanalyse* untersucht, wie oft durch die Systematik das Auftreten eines Kontingenzfaktors vermieden werden konnte. Für die 151 wiederzuverwendenden Anforderungen des RSE konnte in 159 Fällen ein Auftreten von Kontingenzfaktoren abgewendet und damit ein potenzieller Anforderungsfehler vermieden werden.

Abschließende Bewertung der drei Forschungshypothesen

Ausgehend von den Evaluationsergebnissen und -erkenntnissen erfolgt abschließend die Verifikation der drei Forschungshypothesen (FH), wie in Abbildung 7.6 dargestellt. Durch die Anwendung der Ergebnisse der Präskriptiven Studie bei

einem Automobilhersteller konnte ein *systemgenerationsübergreifendes Bedarfs-, Ziel- und Anforderungsverständnis* aufgebaut werden (FH1). Darüber hinaus bestätigten Experteninterviews und eine quantitative Dokumentenanalyse eine *gesteigerte Nachvollziehbarkeit bei der Festlegung von Zielen und Anforderungen* durch die Anwendung der prozessualen und methodischen Unterstützung beim Zusammenspiel von Bedarfen, Zielen und Anforderungen (FH2). Basierend auf einer quantitativen Dokumentenanalyse konnte zudem initial der Nachweis erbracht werden, dass durch die prozessuale Unterstützung bei der Wiederverwendung von Zielen und Anforderungen auf Basis von Bedarfen potenzielle Anforderungsfehler vermieden werden können (FH3).

Die vorliegende Forschungsarbeit ergänzt damit die KaSPro – Karlsruher Schule für Produktentwicklung um einen Beitrag zum Advanced Systems Engineering in der Sportwagenentwicklung, wobei insbesondere ein direkter Bezug zur praktischen Umsetzung hergestellt wird.

-  FH1: Durch eine formale **Definition von Bedarfen**, eine **Abgrenzung zu Zielen und Anforderungen** und eine **Beschreibung im Modell der SGE – Systemgenerationsentwicklung** kann ein **systemgenerationsübergreifendes Verständnis** aufgebaut werden. 
-  FH2: Die prozessuale und methodische Unterstützung des **Zusammenspiels von Bedarfen, Zielen und Anforderungen** in der Automobilentwicklung **steigert die Nachvollziehbarkeit** bei der Festlegung von Zielen und Anforderungen. 
-  FH3: Die Produktentwickelnden von Automobilherstellern können bei der **Wiederverwendung von Zielen und Anforderungen auf Basis von Bedarfen** prozessual **durch das Modell der SGE – Systemgenerationsentwicklung unterstützt** werden und dadurch **potenzielle Fehler vermeiden**. 

Abbildung 7.6: Verifikation der drei Forschungshypothesen (FH1, FH2 und FH3) aus Abschnitt 3.2

7.2 Ergebnistransfer und Ausblick

Im Ergebnistransfer und Ausblick wird beschrieben, wie die entwickelte Systematik zum Spezifizieren von Zielen und Anforderungen anhand von Bedarfen zukünftig in möglichen Forschungsaktivitäten weiterentwickelt werden kann.

7.2.1 Transfer der Systematik auf weitere (nicht-automobile) Anwendungsfälle

Die in der vorliegenden Forschungsarbeit beschriebenen Inhalte der Deskriptiven Studie I (DS-I) sowie der Evaluation in der Deskriptiven Studie II (DS-II) fokussieren

sich auf die Domäne der Automobilentwicklung. Die Erkenntnisse und Ergebnisse wurden dabei vor allem im Rahmen von Untersuchungen bei der Dr. Ing. h.c. F. Porsche AG gewonnen. Aus diesem Grund kann kein Anspruch auf uneingeschränkte Repräsentativität erhoben werden.

Ein *Transfer auf weitere Automobilhersteller sowie auf nicht-automobile Domänen* unter Berücksichtigung bestimmter Limitationen erscheint dennoch valide. Insbesondere die Erkenntnisse der DS-I entstammen unter anderem systematischen Literaturrecherchen, weshalb eine Generalisierbarkeit angenommen werden kann. Im Rahmen der in der DS-II durchgeführten Studien bei der TRUMPF SE + Co. KG und im Live-Lab ProVIL – Produktentwicklung im virtuellen Ideenlabor lag der Schwerpunkt ebenfalls nicht auf der automobilen Produktentwicklung. Aus diesem Grund wird auch hier die Annahme einer Übertragbarkeit unterstützt.

Der mögliche Transfer sowie das Nutzenpotenzial der Systematik bei weiteren Automobilherstellern sowie in nicht-automobilen Anwendungsfällen kann demzufolge in einem gewissen Umfang angenommen werden, muss jedoch verifiziert werden. Rahmenbedingung für die Anwendung der prozessualen und methodischen Unterstützung ist eine hinreichende mechatronische Komplexität des zu entwickelnden Systems.

7.2.2 Weiterentwicklung der prozessualen und methodischen Unterstützung

Die Erkenntnisse zum *systemgenerationsübergreifenden Bedarfs-, Ziel- und Anforderungsverständnis* (vgl. Herausforderung 1) haben gezeigt, dass die Charakteristika der Definition von Stakeholder-Bedarfen in der KaSPro für „technische Erwartungen“ in der Praxis beobachtet werden konnten. Im Rahmen zukünftiger Forschungsarbeiten muss jedoch untersucht werden, inwieweit sich die Charakteristika auch bei „ökonomischen Erwartungen“ wiederfinden. Eine solche integrierte Betrachtung von technischen und ökonomischen Dimensionen bietet das Potenzial zur frühzeitigen Steigerung der Konsistenz des Zielsystems. Hierdurch können ggf. erforderliche kostenintensive Änderungsschleifen reduziert werden. (Kubin et al., 2023)

Automobilhersteller setzen verstärkt auf Plattformstrategien, um Skaleneffekte zu nutzen und dadurch die zunehmende Entwicklungskomplexität zu adressieren. Plattformentwicklungen sind mit dem Produktentstehungsprozess eines einzelnen Fahrzeugs vergleichbar, da sie die Berücksichtigung einer großen Anzahl an Stakeholder-Bedarfen erfordern. Hierbei bilden insbesondere die Plattformnutzer

einen Teil der Stakeholder, sodass durch die Plattform die bestmögliche technische Lösung unter Berücksichtigung aller relevanten Perspektiven bereitgestellt werden kann. Aus diesen Gründen erscheint eine gewisse Übertragbarkeit des beschriebenen Referenzprozesses sowie der methodischen Unterstützung zum *Zusammenspiel von Bedarfen, Zielen und Anforderungen* (vgl. Herausforderung 2) auf die Plattformentwicklung valide. Dennoch müssen zukünftige Forschungsarbeiten einen solchen Transfer vertieft untersuchen. Insbesondere die Verzahnung von Plattform- und Fahrzeugentwicklung ist hierbei eine zentrale Fragestellung, da eine technische Bewertung im Fahrzeugprojekt im iterativen Abgleich mit der Definition des Plattformkonzepts erfolgen muss. (Albers, Kubin et al., vsl. 2025)

Aufbauend auf den Erkenntnissen zur *Wiederverwendung von Zielen und Anforderungen auf Basis von Bedarfen* (vgl. Herausforderung 3) liegt Potenzial in einer Tragweitenanalyse der vier identifizierten Kontingenzfaktoren. Diese Kontingenzfaktoren beschreiben potenzielle Fehler bei der Wiederverwendung von Zielen und Anforderungen und werden durch die Anwendung des beschriebenen Referenzprozesses adressiert. Durch eine Tragweitenanalyse kann untersucht werden, ob sich ein Auftreten der Faktoren in den jeweiligen Auswirkungen unterscheidet. Dies ermöglicht es, bewusst Schwerpunkte bei der prozessualen Unterstützung zur Wiederwendung von Zielen und Anforderungen auf Basis von Bedarfen zu setzen. (Albers, Kubin et al., 2022)

7.2.3 Datengetriebene Validierung von Zielsystemelementen

Die Ergebnisse der Evaluation in der Deskriptiven Studie II (DS-II) weisen darauf hin, dass die prozessuale und methodische Unterstützung beim Spezifizieren von Zielen und Anforderungen anhand von Bedarfen einen Beitrag zur Minimierung der Über- und Untererfüllung von Bedarfen leistet. Ergänzend können durch ein reziprokes Vorgehen weitere Potentiale gehoben werden. So sind Anforderungen an frühere Systemgenerationen häufig Grundlage für die Entwicklung einer neuen Systemgeneration G_{n+1} (Albers, Kubin et al., 2022). Diese Anforderungen können anhand der kunden- und anwenderseitigen Nutzung früherer Systemgenerationen validiert werden (Albers, Kempf et al., vsl. 2025).

Die Analyse von Betriebsdaten für Zwecke der *datengetriebenen Validierung von Zielsystemelementen* birgt hierfür großes Potential im Sinne der Produktoptimierung (Wagenmann, Krause, Rapp, Albers et al., 2022; Wagenmann, Bursac, Rapp & Albers, 2022). Technisch bestehen bereits umfangreiche Möglichkeiten Betriebsdaten zu sammeln, vorzuhalten und der Entwicklung zugänglich zu machen. Dennoch werden sie bis heute nur selten für die Produktoptimierung

herangezogen (Albers, Dumitrescu et al., 2022). Zur Befähigung von Produktentwickelnden für die Nutzung von Betriebsdaten bedarf es neuer Methoden die, abhängig vom jeweiligen individuellen Kompetenzprofil, gezielt unterstützen. Nach Wagenmann, Krause, Rapp und Albers et al. (2022) setzt sich dieses Kompetenzprofil aus dem Wissen zum technischen System, dem Wissen zu Datenstrukturen und der Kompetenz zur operativen Durchführung von Datenanalysen zusammen. Ein Vorgehen zur datengetriebenen Validierung von Zielsystemelementen unter Berücksichtigung der Kompetenzprofile im Problemlösungsteam ermöglicht es künftig Entscheidungen in der Entwicklung mechatronischer Systeme auf Basis von Betriebsdaten zu treffen. Neben der Validierung wiederzuverwendender Anforderungen kann zudem ein Beitrag zur Varianten- und Komplexitätsbeherrschung geleistet werden (Wagenmann, Krause, Rapp, Hüinemeyer et al., 2022). Hierdurch wird insbesondere die Gestaltung von Modulumfängen in Baukastenarchitekturen unterstützt (Wagenmann et al., 2023).

Für zukünftige Forschungsarbeiten besteht folglich Potential in einer prozessualen und methodischen Unterstützung der datengetriebenen Validierung von Zielen und Anforderungen unter Berücksichtigung der zugrundeliegenden Bedarfe.

Literaturverzeichnis

- Agouridas, V., Winand, H., McKay, A. & Pennington, A. de. (2006). Early alignment of design requirements with stakeholder needs. In *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, 220(9), 1483–1507. London, UK: Sage Publications.
<https://doi.org/10.1243/09544054JEM404>
- Akao, Y. (1992). *QFD-Quality Function Deployment. Wie die Japaner Kundenwünsche in Qualität umsetzen*. Landsberg/Lech: Springer.
https://doi.org/10.1007/978-3-8349-9517-9_30
- Albers, A. (2011). Der Entwickler im Zentrum des Systems der Produktentstehung. In *Stuttgarter Symposium für Produktentwicklung (SSP) 2011. Engineering - eine Herausforderung für die Zukunft*, 23. - 24. November 2011. Stuttgart: Fraunhofer Verlag.
- Albers, A., Burkhardt, N., Meboldt, M. & Saak, M. (2005). SPALTEN Problem Solving Methodology in the Product Development. In *Engineering Design and the Global Economy: 15th International Conference on Engineering Design - ICED 2005, Melbourne*, 15. - 18. August 2005. Hrsg.: A. Samuel (p. 90671). Glasgow, Schottland: The Design Society.
- Albers, A., Dumitrescu, R., Gausemeier, J., Lindow, K., Riedel, O. & Stark, R. (2022). *Strategie Advanced Systems Engineering- Leitinitiative zur Zukunft des Engineering- und Innovationsstandorts Deutschland*. München: Verfügbar unter: www.advanced-systems-engineering.de
- Albers, A., Fahl, J., Hirschter, T., Endl, M., Ewert, R. & Rapp, S. (2020). Model of PGE – Product Generation Engineering by the Example of Autonomous Driving. In *Procedia 30th CIRP Design. Enhancing design through the 4th Industrial Revolution Thinking (05.-08.05.2020)*, Kruger National Park, South Africa (Procedia CIRP, Vol. 91, S. 665–677). Amsterdam, Netherlands: Elsevier B.V.
<https://doi.org/10.1016/j.procir.2020.03.113>

- Albers, A., Kempf, C., Haberkern, P., Mandel, C., Kubin, A., Wagenmann, S. et al. (vsl. 2025). The Reference System in Product Generation Engineering: Structuring Reference System Elements for Advanced Systems Engineering Based on the System Triple. *Design Science*. Cambridge, UK: Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/dsj.2024.41>
- Albers, A., Rapp, S., Fahl, J., Hirschter, T., Revfi, S., Schulz, M. et al. (2020). Proposing a Generalized Description of Variations in Different Types of Systems by the Model of PGE – Product Generation Engineering. *Proceedings of the Design Society: DESIGN Conference*, 1, 2235–2244. Glasgow, Scotland, UK: The Design Society. <https://doi.org/10.1017/dsd.2020.315>
- 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. *Procedia CIRP*, 70, 469–474. Amsterdam, Niederlande: Elsevier. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2018.02.046>
- Albers, A. (2010). Five hypotheses and a meta model of engineering design processes. In *Proceedings of the TMCE 2010 Symposium. Virtual Engineering for Competitiveness (12.-16.04.2010), Ancona, Italien* (S. 343–356). Delft, Netherlands: Delft University of Technology.
- Albers, A., Behrendt, M., Klingler, S. & Matros, K. (2016). Verifikation und Validierung im Produktentstehungsprozess. In *Handbuch Produktentwicklung* (S. 541–569). München: Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG. <https://doi.org/10.3139/9783446445819.019>
- Albers, A. & Braun, A. (2011). A generalised framework to compass and to support complex product engineering processes. *International Journal of Product Development (IJPD)*, 15, 6–25. Geneva, Schweiz: Iunderscience Publishers. <https://doi.org/10.1504/IJPD.2011.043659>
- Albers, A., Braun, A. & Muschik, S. (2010). Uniqueness and the Multiple Fractal Character of Product Engineering Processes. In *Modelling and Management of Engineering Processes* (S. 15–26). London, UK: Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-84996-199-8_2
- Albers, A., Bursac, N., Heimicke, J., Walter, B. & Reiß, N. (2018). 20 Years of Co-creation Using Case Based Learning: An Integrated Approach for Teaching Innovation and Research in Product Generation Engineering. In *Teaching and Learning in a Digital World: Proceedings of the 20th International Conference*

- on Interactive Collaborative Learning, Volume 2, Budapest, Hungary, 27th - 29th September 2017. Ed.: M. E. Auer (Bd. 716, pp. 636–647). Budapest, Ungarn: Springer.*
- Albers, A., Bursac, N. & Rapp, S. (2016). *PGE - Product Generation Engineering. Case Study of the Dual Mass Flywheel*. Glasgow, Scotland, UK: The Design Society: Proceedings of the DESIGN 2016.
- Albers, A., Bursac, N. & Rapp, S. (2017). PGE – Produktgenerationsentwicklung am Beispiel des Zweimassenschwungrads. *Forschung im Ingenieurwesen*, 81(1), 13–31. Wiesbaden, Deutschland: Springer.
<https://doi.org/10.1007/s10010-016-0210-0>
- Albers, A., Bursac, N. & Wintergerst, E. (2015). Produktgenerationsentwicklung – Bedeutung und Herausforderungen aus einer entwicklungsmethodischen Perspektive. In *Stuttgarter Symposium für Produktentwicklung SSP 2015. Entwicklung smarter Produkte für die Zukunft (18.-19.06.2015)*. Stuttgart: Fraunhofer Verlag.
- Albers, A., Ebel, B. & Lohmeyer, Q. (2012). Systems of objectives in complex product development. In *Tools and methods of competitive engineering: Proceedings of the ninth International Symposium on Tools and Methods of Competitive Engineering (TMCE 2012)*. Delft, Netherlands: Delft University of Technology.
- Albers, A., Ebertz, J., Rapp, S., Heimicke, J., Kürten, C., Zimmermann, V. et al. (2021). Produktgeneration 1 im Modell der PGE - Produktgenerationsentwicklung Verständnis, Zusammenhänge und Auswirkungen in der Produktentwicklung. *KIT Scientific Working Papers*, Nr. 149, 1–26. Karlsruhe, Deutschland: Karlsruher Institut für Technologie (KIT).
<https://doi.org/10.5445/IR/1000127971>
- Albers, A., Haug, F., Heitger, N., Arslan, M., Rapp, S. & Bursac, N. (2016). Produktgenerationsentwicklung Praxisbedarf und Fallbeispiel in der automobilen Produktentwicklung. In *12. Symposium für Vorausschau und Technologieplanung (SVT), Berlin, 8. - 9. Dezember 2016* (HNI-Verlagsschriftenreihe, Bd. 360). Paderborn: Heinz-Nixdorf-Institut.

- Albers, A., Haug, F., Heitger, N., Fahl, J. & Hirschter, T. (2019). Entwicklungsgenerationen zur Steuerung der PGE – Produktgenerationsentwicklung: Von der Bauteil-zur Funktionsorientierung in der Automobilentwicklung. *Stuttgarter Symposium für Produktentwicklung SSP 2019. Agilität und kognitives Engineering (15.-16.05.2019)*. Stuttgart: Fraunhofer Verlag.
- Albers, A., Heimicke, J., Hirschter, T., Richter, T., Reiss, N., Maier, A. et al. (2018). Managing Systems of Objectives in the agile Development of Mechatronic Systems by ASD – Agile Systems Design. In *Proceedings of NordDesign 2018. Design in the era of digitalization (14.-17.08.2018), Linköping, Sweden (NordDESIGN, n. p.)*. Glasgow, Scotland, UK: The Design Society.
- Albers, A., Heimicke, J., Walter, B., Basedow, G. N., Reiβ, N., Heitger, N. et al. (2018). Product Profiles: Modelling customer benefits as a foundation to bring inventions to innovations. *Procedia CIRP, 70*, 253–258. Amsterdam, Niederlande: Elsevier. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2018.02.044>
- 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 *R&Designing Innovation. Transformational Challenges for Organisations and Society (30.06.-04.07.2018)*, Milan, Italy (n. p.). Chester, UK: RADMA.
- Albers, A., Hirschter, T., Fahl, J., Woehrle, G., Reinemann, J. & Rapp, S. (2020). Generic Reference Product Model for Specifying Complex Products by the Example of the Automotive Industry. In *Digital Proceedings of TMCE 2020*. Delft, Netherlands: Delft University of Technology.
- Albers, A., Hünemeyer, S., Kubin, A., Pfaff, F., Schlegel, M. & Rapp, S. (2023). Modelling Technical Systems in the Early Phase: Proposing a Formal Definition for the System Concept. *Proceedings of ICED 23. 24th International Conference on Engineering Design*, Bordeaux, France. Glasgow, Scotland, UK: The Design Society.
- Albers, A., Klingler, S. & Ebel, B. (2013). Modeling Systems of Objectives in Engineering Design Practice. In *Proceedings of the 19th International Conference on Engineering Design (ICED13). Design Information and Knowledge (19.-22.08.2013)*, Seoul, Korea (ICED, S. 379–388). Glasgow, Scotland, UK: The Design Society.

- Albers, A., Kubin, A., Eckhardt, A., Rapp, S. & Kempf, C. (2022). Systems-Engineering-based Requirements Reuse in Accordance with Stakeholder Needs in Automotive Product Development. In *2022 IEEE International Symposium on Systems Engineering (ISSE)* (S. 1–8). Wien, Österreich: IEEE <https://doi.org/10.1109/ISSE54508.2022.10005513>.
- Albers, A., Kubin, A., Hünemeyer, S., Reichert, F., Fisch, P. & Rapp, S. (vsl. 2025). Combining strategic foresight and automotive requirements engineering in the model of SGE - system generation engineering. *Design Science*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Albers, A. & Lohmeyer, Q. (2012). Advanced Systems Engineering - Towards a Model-Based and Human-Centered Methodology. In *Tools and methods of competitive engineering: Proceedings of the ninth International Symposium on Tools and Methods of Competitive Engineering*. Delft, Netherlands: Delft University of Technology.
- Albers, A., Lohmeyer, Q. & Radimersky, A. (2012). Individuelle und organisatorische Akzeptanz von Methoden des Systems Engineering. In *Tag des Systems Engineering: Zusammenhänge erkennen und gestalten, Paderborn, 7. - 9. November 2012*. München: Carl Hanser Verlag.
- Albers, A., Matthiesen, S., Bursac, N., Moeser, G., Schmidt, S. & Lüdcke, R. (2014). Abstraktionsgrade der Systemmodellierung – von der Sprache zur Anwendung. In *TdSE 2014 - Tag des Systems Engineering, 12. - 14.11.2014, Bremen*. München: Carl Hanser Verlag. <https://doi.org/10.13140/2.1.4350.8007>
- Albers, A. & Muschik, S. (2010). The Role and Application of Activities in the Integrated Product Engineering Model (iPeM). In *DS 60: Proceedings of DESIGN 2010. 11th International Design Conference, Dubrovnik, Croatia, May 17 - 20, 2010*. Glasgow, Scotland, UK: The Design Society.
- Albers, A. & Rapp, S. (2022). Model of SGE: System Generation Engineering as Basis for Structured Planning and Management of Development. In *Design Methodology for Future Products*. Ed.: D. Krause (pp. 27–46). Cham, Schweiz: Springer International Publishing.
- Albers, A., Rapp, S., Birk, C. & Bursac, N. (2017). Die Frühe Phase der PGE – Produktgenerationsentwicklung. In *Stuttgarter Symposium für*

- Produktentwicklung (SSP) 2017. Produktentwicklung im disruptiven Umfeld (28.-29.06.2017), Stuttgart (S. 345–354).* Stuttgart: Fraunhofer Verlag.
- Albers, A., Rapp, S., Spadinger, M., Richter, T., Birk, C., Marthaler, F. et al. (2019). The Reference System in the Model of PGE: Proposing a Generalized Description of Reference Products and their Interrelations. In *Proceedings of the Design Society: International Conference on Engineering Design*, 1(1), 1693–1702. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
<https://doi.org/10.1017/dsi.2019.175>
- Albers, A., Reiss, N., Bursac, N. & Breitschuh, J. (2016). 15 Years of SPALTEN Problem Solving Methodology in Product Development. In *DS 85: Proceedings of NordDesign 2016 (10.-12.08.2016), Trondheim, Norway (NordDESIGN, S. 411–420)*. Glasgow, Scotland, UK: The Design Society.
- Albers, A., Reiss, N., Bursac, N. & Richter, T. (2016). iPeM – Integrated Product Engineering Model in Context of Product Generation Engineering. In *Procedia 26th CIRP Design. Creative Design of Products and Production Systems (15.-17.06.2016), Stockholm, Sweden (Procedia CIRP, Vol. 50, S. 100–105)*. Amsterdam, Netherlands: Elsevier B.V.
<https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.04.168>
- Albers, A., Reiss, N., Bursac, N., Urbanec, J. & Lüdcke, R. (2014). Situation-appropriate method selection in product development process – empirical study of method application. In *Proceedings of NordDesign 2014 Conference, in Espoo, Finland, 27. - 29. August, 2014*. Espoo, Finnland: Aalto University.
<https://doi.org/10.13140/2.1.3924.8164>
- Albers, A., Walter, B., Wilmsen, M. & Bursac, N. (2018). Live-Labs as real-world validation environments for design methods. In *Design 2018 - 15th International Design Conference, Dubrovnik, HR, May 21-24, 2018* (pp. 13–24). Glasgow, Scotland, UK: The Design Society.
- Alexander, I. & Kiedaisch, F. (2002). Towards recyclable system requirements. In *Proceedings Ninth Annual IEEE International Conference and Workshop on the Engineering of Computer-Based Systems* (S. 9–16). NY, USA: IEEE.
- Alshazly, A. A., Elfatatty, A. M. & Abougabal, M. S. (2014). Detecting defects in software requirements specification. In *Alexandria Engineering Journal*, 53(3), 513–527. Amsterdam, Netherlands: Elsevier B.V.
<https://doi.org/10.1016/j.aej.2014.06.001>

- Amna, A. & Poels, G. (2022). Systematic Literature Mapping of User Story Research. *IEEE Access*, 10, 1. NY, USA: IEEE.
<https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3173745>
- Antelme, R. G., Moultrie, J. & Probert, D. R. (2000). Engineering reuse: a framework for improving performance. In *Proceedings of the 2000 IEEE International Conference on Management of Innovation and Technology. ICMIT 2000. 'Management in the 21st Century' (Cat. No.00EX457)* (Bd. 1, 444-449 vol.1). Glasgow, Scotland, UK: The Design Society.
- Bader, J. J. (2007). *Die Hauptstellgrößen des Produktzielmanagements am Beispiel der Automobilentwicklung*. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau. Dresden: TU Dresden.
- Bajzek, M., Fritz, J. & Hick, H. (2021). Systems Engineering Principals. In H. Hick, K. Küpper & H. Sorger (Hrsg.), *Systems Engineering for Automotive Powertrain Development* (S. 150–192). Cham, Schweiz: Springer Nature Switzerland AG.
- Barber, K. S. & Graser, T. J. (1999). Requirements evolution and reuse using the systems engineering process activities (SEPA). *Australasian Journal of Information Systems*. Sydney, Australien: Australian Computer Society.
<https://doi.org/10.3127/ajis.v6i2.294>
- Beihoff, B., Oster, C., Friedenthal, S., Paredis, C., Kemp, D., Stoewer, H. et al. (2014). *A World in Motion – Systems Engineering Vision 2025*. INCOSE. Hoboken, New Jersey, USA: Wiley.
- Bender, B. & Gericke, K. (2021). *Pahl/Beitz Konstruktionslehre*. Berlin, Heidelberg: Springer.
<https://doi.org/10.1007/978-3-662-57303-7>
- Bertalanffy, L. von. (1969). *General General System Theory. Foundations, Development, Applications*. NY, USA: George Braziller Inc.
<https://doi.org/10.1109/TSMC.1974.4309376>
- Bhise, V. (2017). Automotive Product Development: A Systems Engineering Implementation. *Automotive Product Development: A Systems Engineering Implementation*. Florida, USA: CRC Press.
<https://doi.org/10.1201/9781315119502>

- Blessing, L. T.M. & Chakrabarti, A. (2009). *DRM, a Design Research Methodology*. London: Springer London.
<https://doi.org/10.1007/978-1-84882-587-1>
- Broy, M., Böhm, W. & Rumpe, B. (2020). *Advanced Systems Engineering. Die Systeme der Zukunft*. fortiss GmbH. Wiesbaden, Deutschland: Springer.
- Broy, M., Böhm, W. & Rumpe, B. (Hrsg.). (2021). *Model-Based Engineering of Collaborative Embedded Systems*. Wiesbaden, Deutschland: Springer.
<https://doi.org/10.1007/978-3-030-62136-0>
- Brusa, E. (2018). *Systems Engineering and Its Application to Industrial Product Development* (Studies in Systems, Decision and Control Ser, v.134). Cham, Schweiz: Springer International Publishing AG.
- Bursac, N. (2016). Model Based Systems Engineering zur Unterstützung der Baukastenentwicklung im Kontext der Frühen Phase der Produktgenerationsentwicklung. Dissertation. In A. Albers & S. Matthiesen (Hrsg.), *Forschungsberichte des IPEK - Institut für Produktentwicklung. Systeme, Methoden, Prozesse* (Bd. 93). Karlsruhe: Karlsruher Institut für Technologie (KIT). <https://doi.org/10.5445/IR/1000054484>
- Bursac, N., Rapp, S., Waldeier, L., Wagenmann, S., Albers, A., Deiss, M. et al. (2021). Anforderungsmanagement in der Agilen Entwicklung Mechatronischer Systeme - ein Widerspruch in sich? In *EEE 2021 - Entwerfen Entwickeln Erleben in Produktentwicklung und Design 2021, 17. und 18. Juni 2021*. Dresden, Deutschland: TUDpress.
<https://doi.org/10.25368/2021.28>
- Cooper, R. (1994). Third-Generation New Product Processes. *Journal of Product Innovation Management - J PROD INNOVAT MANAGE*, 11, 3–14. Hoboken, New Jersey, USA: Wiley.
<https://doi.org/10.1111/1540-5885.1110003>
- Cooper, R. & Kleinschmidt, E. (1993). Screening New Products for Potential Winners. *Long Range Planning*, 26, 74–81. Hoboken, New Jersey, USA: Wiley.
[https://doi.org/10.1016/0024-6301\(93\)90208-W](https://doi.org/10.1016/0024-6301(93)90208-W)

- Crowder, J. A., Carbone, J. N. & Demijohn, R. (2016). *Multidisciplinary Systems Engineering. Architecting the Design Process* (1st ed. 2016). Cham: Springer International Publishing; Imprint: Springer.
- Daenzer, W. F. & Haberfellner, R. (Hrsg.). (2002). *Systems Engineering. Methodik und Praxis* (11., durchges. Aufl.). Zürich: Verl. Industrielle Organisation.
- Delligatti, L. (2014). *SysML distilled. A brief guide to the systems modeling language*. Upper Saddle River, NJ: Addison-Wesley. Retrieved from <https://learning.oreilly.com/library/view/-/9780133430356/?ar>
- Deubzer, F. & Lindemann, U. (2009). Networked Product Modeling – Use and Interaction of Product Models and Methods during Analysis and Synthesis. In *Engineering Design and the Global Economy: 15th International Conference on Engineering Design*. Glasgow, Scotland, UK: The Design Society.
- Dewar, R. & Dutton, J. (1986). The Adoption of Radical and Incremental Innovations: An Empirical Analysis. *Management Science*, 32, 1422–1433. Thousand Oaks, California, USA: Sage Publications.
<https://doi.org/10.1287/mnsc.32.11.1422>
- Dumitrescu, R., Albers, A., Riedel, O., Stark, R. & Gausemeier, J. (2021). *Engineering in Germany – Status Quo in Business and Science. A Contribution to Advanced Systems Engineering*. Paderborn, Deutschland: Fraunhofer IEM.
- Ebel, B. (2015). Modellierung von Zielsystemen in der interdisziplinären Produktentstehung. Dissertation. In A. Albers & S. Matthiesen (Hrsg.), *Forschungsberichte des IPEK - Institut für Produktentwicklung. Systeme, Methoden, Prozesse* (Bd. 85). Karlsruhe: Karlsruher Institut für Technologie (KIT). <https://doi.org/10.5445/IR/1000048334>
- Eckert, C., Alink, T. & Albers, A. (2010). Issue driven analysis of an existing product at different levels of abstraction. In *DS 60: Proceedings of DESIGN 2010. 11th International Design Conference (17.-20.05.2010), Dubrovnik, Croatia (DESIGN, S.673–682)*. Glasgow, Scotland, UK: The Design Society.
- Ehrbenspiel, K. (2009). *Integrierte Produktentwicklung. Denkabläufe, Methodeneinsatz, Zusammenarbeit* (4., aktualisierte Aufl., [elektronische Ressource]. München: Hanser.
<https://doi.org/10.3139/9783446421578>

- Ehrlenspiel, K. & Meerkamm, H. (2013). *Integrierte Produktentwicklung. Denkabläufe, Methodeneinsatz, Zusammenarbeit* (5., überarb. und erw. Aufl., [elektronische Ressource]). München: Hanser.
<https://doi.org/10.3139/9783446436275>
- Eichmann, O. C., Melzer, S., Giertzsch, F. & God, R. (2020). Stakeholder Needs and Requirements Definition During Service Development in a System of Systems. In *2020 IEEE International Systems Conference (SysCon)* (S. 1–8). New York, USA: IEEE.
- Eiletz, R. (1999). *Zielkonfliktmanagement bei der Entwicklung komplexer Produkte-am Beispiel PKW-Entwicklung (Band 32)*. Dissertation. München: Technische Universität München.
- Ettlie, J. E., Bridges, W. P. & O'Keefe, R. D. (1984). Organization Strategy and Structural Differences for Radical Versus Incremental Innovation. *Management Science*, 30(6), 682–695. Thousand Oaks, California, USA: Sage Publications.
<https://doi.org/10.1287/mnsc.30.6.682>
- Fahl, J. (2022). Produktportfolio-übergreifendes Spezifizieren von Produktfunktionen der Sportwagenentwicklung im Modell der PGE – Produktgenerationsentwicklung = Product Portfolio-spanning Specifying of Product Functions within Sports Car Development in the Model of PGE – Product Generation Engineering. Dissertation. In A. Albers & S. Matthiesen (Hrsg.), *Forschungsberichte des IPEK - Institut für Produktentwicklung. Systeme, Methoden, Prozesse* (Bd. 147). Karlsruhe: Karlsruher Institut für Technologie (KIT). <https://doi.org/10.5445/IR/1000143818>
- Følstad, A. & Kvale, K. (2018). Customer journeys: a systematic literature review. *Journal of Service Theory and Practice*, 28. Bingley, Vereinigtes Königreich: Emerald Group Publishing.
<https://doi.org/10.1108/JSTP-11-2014-0261>
- Fortune, J. & Valerdi, R. (2012). A framework for reusing systems engineering products. */NCOSE*. San Diego, USA: Wiley.
<https://doi.org/10.1002/sys.21232>
- Franch, X., Palomares, C. & Quer, C. (2020). Industrial Practices on Requirements Reuse: An Interview-Based Study. In N. Madhavji, L. Pasquale, A. Ferrari & S. Gnesi (Hrsg.), *Requirements Engineering: Foundation for Software Quality* (S. 78–94). Cham, Schweiz: Springer International Publishing.

- Funke, J. (2003). *Problemlösendes Denken [Problem solving thinking]*. Stuttgart, Deutschland: W. Kohlhammer GmbH.
<https://doi.org/10.17433/978-3-17-022830-6>
- Gaubinger, K., Werani, T. & Rabl, M. (2009). *Praxisorientiertes Innovations- und Produktmanagement. Grundlagen und Fallstudien aus B-to-B-Märkten*. Wiesbaden: Gabler Verlag / Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH Wiesbaden. <https://doi.org/10.1007/978-3-8349-8780-8>
- Gausemeier, J., Dumitrescu, R., Steffen, D., Czaja, A., Wiederkehr, O. & Tscheirner, C. (2013). Systems Engineering in der industriellen Praxis. In *Tag des Systems Engineerrings (TdSE), Stuttgart*. München, Deutschland: Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG
- Gausemeier, J., Gaukstern, T. & Tscheirner, C. (2013). Systems Engineering Management Based on a Discipline-Spanning System Model. *Procedia Computer Science*, 16, 303–312. Amsterdam, Niederlande: Elsevier.
<https://doi.org/10.1016/j.procs.2013.01.032>
- Gausemeier, J., Lindemann, U., Reinhart, G. & Wiendahl, H. (2000). *Kooperatives Produktengineering. Ein neues Selbstverständnis des ingenieurmäßigen Wirkens* (HNI-Verlagsschriftenreihe, Bd. 79). Paderborn, Deutschland: Heinz-Nixdorf-Inst.
- Gausemeier, J. & Plass, C. (2014). *Zukunftsorientierte Unternehmensgestaltung. Strategien, Geschäftsprozesse und IT-Systeme für die Produktion von morgen* (2., überarbeitete Auflage). München: Hanser.
- Gebhart, N., Kruse, M. & Krause, D. (2016). Gleichteile-, Modul- und Plattformstrategie. In *Handbuch Produktentwicklung* (S. 111–149). München, Deutschland: Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG.
<https://doi.org/10.3139/9783446445819.006>
- Gilson, F. & Irwin, C. (2018). From User Stories to Use Case Scenarios towards a Generative Approach. In *2018 25th Australasian Software Engineering Conference (ASWEC)* (S. 61–65). New York, USA: IEEE.
- Goldin, L. & Berry, D. M. (2015). Reuse of requirements reduced time to market at one industrial shop: a case study. *Requirements Engineering*, 20(1), 23–44. Berlin, Deutschland: Springer. <https://doi.org/10.1007/s00766-013-0182-7>

- Grabowski, H. & Geiger, K. (Hrsg.). (1997). *Neue Wege zur Produktentwicklung* (Raabe-Innovationen). Stuttgart, Deutschland: Raabe.
- Grabowski, M., Kaiser, B. & Bai, Y. (2018). Systematic Refinement of CPS Requirements using SysML, Template Language and Contracts. In *Modellierung 2018 ser. LNI, vol. P-280, 2018, pp. 245–260*. Bonn, Deutschland: Gesellschaft für Informatik e.V. (GI).
- Graviss, M., Sarkani, S. & Mazzuchi, T. A. (2016). *Tailoring a Large Organization's Systems Engineering Process to Meet Project-Specific Needs*. Fort Belvoir, Virginia, USA: Defense Acquisition University.
- Haberfellner, R., Weck, O. L. de, Fricke, E. & Vössner, S. (2019). *Systems Engineering. Fundamentals and applications*. NY, USA: Springer Science+Business Media.
- Häder, M. (2014). *Delphi-Befragungen. Ein Arbeitsbuch* (3. Aufl.). Wiesbaden, Deutschland: Springer VS. <https://doi.org/10.1007/978-3-658-01928-0>
- Heimicke, J., Spadinger, M., Li, X. & Albers, A. (2020). Potentials and Challenges in the Harmonization of Approaches for agile Product Development and Automotive SPICE. In *8th Transport Research Arena TRA 2020*. Amsterdam, Netherlands: Elsevier.
- Heitger, N. (2019). Methodische Unterstützung der initialen Zielsystem- bildung in der Automobilentwicklung im Modell der PGE – Produktgenerationsentwicklung. Dissertation. In A. Albers & S. Matthiesen (Hrsg.), *Forschungsberichte des IPEK - Institut für Produktentwicklung. Systeme, Methoden, Prozesse* (Bd. 120). Karlsruhe: Karlsruher Institut für Technologie (KIT).
- Henderson, R. & Clark, K. (1990). Architectural Innovation: The Reconfiguration of Existing Product Technologies and the Failure of Established Firms. *Administrative science quarterly*, 35. Thousand Oaks, Kalifornien, USA: Sage Publications. <https://doi.org/10.2307/2393549>
- Hering, E. (2022). *Quality Function Deployment (QFD). Methode Zur Effizienten Produktentwicklung Orientiert Am Kunden Unter Berücksichtigung des Wettbewerbes* (Essentials Ser.). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin /

- Heidelberg. Verfügbar unter:
<https://ebookcentral.proquest.com/lib/kxp/detail.action?docID=6888338>
- Hirscher, T., Heitger, N., Haug, F., Fahl, J., Mandel, C., Marthaler, F. et al. (2018). Zukunftsorientierte PGE – Produktgenerationsentwicklung: Ein Ansatz zur systematischen Überführung von Szenarien in Produktprofile in der Frühen Phase der PGE. In *Vorausschau und Technologieplanung: 14. Symposium für Vorausschau und Technologieplanung (SVT), Berlin, 8.-9. November 2018*. Hrsg.: J. Gausemeier (Bd. 385, S. 20). Paderborn, Deutschland: Heinz Nixdorf Institut.
- Hirshorn, S. R. (2016). *Expanded Guidance for NASA Systems Engineering. Volume 1: Systems Engineering Practices*. Washington D.C., USA: National Aeronautics and Space Administration.
- Hirshorn, S. R., Voss, L. D. & Bromley, L. K. (2017). *NASA Systems engineering handbook* (NASA SP, 6105, Rev2). Washington D.C., USA: National Aeronautics and Space Administration.
- Hollauer, C., Langner, M. & Lindemann, U. (2018). Supporting tailoring of complex product development processes: An approach based on structural modelling and analysis. In *DS 92: Proceedings of the DESIGN 2018 15th International Design Conference*. Glasgow, Scotland, UK: The Design Society.
<https://doi.org/10.21278/idc.2018.0407>
- Hünemeyer, S., Bauer, J., Wagenmann, S., Kubin, A. & Albers, A. (2023). Datengestützte SGE – Systemgenerationsentwicklung: Konzeption und Anwendung einer Methode zur Synthese von Anforderungen aus Produktnutzungsdaten. *17. Symposium für Vorausschau und Technologieplanung*. Paderborn, Deutschland: Heinz Nixdorf Institut.
- Hünemeyer, S., Reichelt, F., Rapp, S., Albers, A. & Maier, T. (2022). Future Automotive-UX -Integrating Foresight in Early Phase Concept Development. In *The XXXIII ISPIM Innovation Conference "Innovating in a Digital World"*. ISPIM.
- Huth, T. & Vietor, T. (2020). Systems Engineering in der Produktentwicklung: Verständnis, Theorie und Praxis aus ingenieurwissenschaftlicher Sicht. *Gruppe. Interaktion. Organisation. Zeitschrift für Angewandte Organisationspsychologie (GIO)*, 51(1), 125–130. Wiesbaden, Deutschland: Springer. <https://doi.org/10.1007/s11612-020-00505-1>

Hwang, Y. & Park, J.-G. (2006). Approaches and requirements to develop and improve the standard processes for a research and development. *Systems Engineering*, 9, 35–44. Hoboken, New Jersey, USA: Wiley.
<https://doi.org/10.1002/sys.20041>

INCOSE (Hrsg.). (2015). *INCOSE Systems Engineering Handbook: A Guide for System Life Cycle Processes and Activities*. San Diego, USA: Wiley.

Irshad, M., Petersen, K. & Pouling, S. (2018). A systematic literature review of software requirements reuse approaches. *Information and Software Technology*, 93, 223–245. Amsterdam, Niederlande: Elsevier.
<https://doi.org/10.1016/j.infsof.2017.09.009>

Irshad, M., Torkar, R., Petersen, K. & Afzal, W. (2016). Capturing Cost Avoidance through Reuse: Systematic Literature Review and Industrial Evaluation. In *Proceedings of the 20th International Conference on Evaluation and Assessment in Software Engineering (EASE '16)*. NY, USA: Association for Computing Machinery.

ISO, 26262 (2018-12). *Road Vehicles Functional Safety Standards*. Genf, Schweiz: ISO.

ISO, 12207 (2017-11). *Systems and software engineering — Software life cycle processes*. Genf, Schweiz: ISO.

ISO, 15288 (2015-05). *Systems and softward engineering--Systems life cycle processes*. Genf, Schweiz: ISO.

ISO, 29148 (2018-11). *Systems and software engineering — Life cycle processes — Requirements engineering*. Genf, Schweiz: ISO.

Jantzer, M., Nentwig, G., Deininger, C. & Michl, T. (Hrsg.). (2019). *Die Kunst, eine Produktentwicklung zu führen: Erfolgreiche Konzepte aus der Unternehmenspraxis*. Berlin, Heidelberg, Deutschland: Springer Berlin Heidelberg.

Johannessen, J.-A., Olsen, B. & Lumpkin, G. T. (2001). Innovation as newness: what is new, how new, and new to whom? *European Journal of Innovation Management*, 4(1), 20–31. Bingley, Vereinigtes Königreich: Emerald Group Publishing. <https://doi.org/10.1108/14601060110365547>

- Johne, F. A. & Snelson, P. A. (1988). Success Factors in Product Innovation: A Selective Review of the Literature. *Journal of Product Innovation Management*, 5(2), 114–128. Hoboken, New Jersey, USA: Wiley.
<https://doi.org/10.1111/1540-5885.520114>
- Kano, N., Seraku, N., Takahashi, F. & Tsuji, S.-i. (1984). Attractive Quality and Must-Be Quality. *JOURNAL OF THE JAPANESE SOCIETY FOR QUALITY CONTROL*, 14, 39–48. Tokio, Japan: The Japanese Society for Quality Control.
- Khadilkaar, D. V. & Stauffer, L. A. (1996). An Experimental Evaluation of Design Information Reuse During Conceptual Design. *Journal of Engineering Design*, 7(4), 331–339. Abingdon, Vereinigtes Königreich: Taylor & Francis.
<https://doi.org/10.1080/09544829608907944>
- Khalil, M. (2018). Pattern Libraries Guiding the Model-Based Reuse of Automotive Solutions. In F. Khendek & R. Gotzhein (Hrsg.), *System Analysis and Modeling. Languages, Methods, and Tools for Systems Engineering* (S. 85–104). Cham, Schweiz: Springer International Publishing.
- Khurana, A. & Rosenthal, S. R. (1997). Integrating the Fuzzy Front End of New Product Development. *Sloan Management Review*, 38, 103–120. Cambridge, Massachusetts, USA: MIT Sloan School of Management.
- Kleiner, S. & Kramer, C. (2012). Entwerfen und Entwickeln mit Systems Engineering auf Basis des RFLP-Ansatzes in V6. In R. Stelzer, K.-H. Grote, K. Brökel, F. Rieg & J. Feldhusen (Hrsg.), *ENTWERFEN ENTWICKELN ERLEBEN. Methoden und Werkzeuge in der Produktentwicklung*. Dresden, Deutschland: TUDpress.
- Knorr, C. & Friedrich, A. (2016). *QFD - Quality Function Deployment. Mit System zu marktattraktiven Produkten* (Hanser eLibrary, Bd. 073). München: Carl Hanser Fachbuchverlag.
- Koen, P., Ajamian, G., Burkart, R., Clamen, A., Davidson, J., D'Amore, R. et al. (2001). Providing Clarity and A Common Language to the “Fuzzy Front End”. *Research-Technology Management*, 44(2), 46–55. Abingdon, Vereinigtes Königreich: Taylor & Francis.
<https://doi.org/10.1080/08956308.2001.11671418>

- Kossiakoff, A. (2011). *Systems Engineering. Principles and practice* (Wiley series in systems engineering and management, vol. 67, 2nd ed.). Hoboken, New Jersey, USA: Wiley-Interscience. <https://doi.org/10.1002/9781118001028>
- Kubin, A., Etri, M., Duehr, K., Rapp, S., Abers, A., Eckhardt, A. et al. (2022). Herausforderungen bei der Systems-Engineering-basierten Definition von Anforderungen anhand von Bedarfen in der Automobilentwicklung. 16. Symposium für Vorausschau und Technologieplanung. Paderborn, Deutschland: Heinz Nixdorf Institut.
- Kubin, A., Wagenmann, S., Reichert, F., Mandel, C. & Albers, A. (2023). Stakeholder Needs in Systems Engineering: A Proposal for a Formal Definition. *IEEE International Systems Conference*. NY, USA: IEEE.
- Kuhnert, F., Stuermer, C. & Koster, A. (2017). *Five trends transforming the Automotive Industry* (PricewaterhouseCoopers GmbH, Hrsg.). Frankfurt am Main, Deutschland: PricewaterhouseCoopers GmbH.
- Küsel, T. W. (2020). A generic Systems Engineering process tailoring methodology, based on lessons from MeerKAT. *INCOSE International Symposium*, 30(1), 124–137. Hoboken, New Jersey, USA: Wiley. <https://doi.org/10.1002/j.2334-5837.2020.00712.x>
- Lam, W. (1998). A case-study of requirements reuse through product families. *Annals of Software Engineering*, 5(1), 253–277. Berlin, Deutschland: Springer. <https://doi.org/10.1023/A:1018912105115>
- Lam, W., McDermid, J. A. & Vickers, A. J. (1997). Ten steps towards systematic requirements reuse. *Requirements Engineering*, 2(2), 102–113. Berlin, Deutschland: Springer. <https://doi.org/10.1007/BF02813029>
- Larson, W. J., Kirkpatrick, D., Sellers, J., Thomas, L. & Verma, D. (Hrsg.). (2009). *Applied Space Systems Engineering* (Space technology series). Boston, Mass.: McGraw-Hill Learning Solutions.
- Lehmann, H., Beyer, U., Cohnitz, S. & Bub, U. (2009). Frontloading: Virtual Quality Assurance for Improved Service Launch Processes. *Gesellschaft für Informatik (Jahrestagung)*. Bonn, Deutschland: Gesellschaft für Informatik e.V. (GI).

- Lindemann, U. (2009). *Methodische Entwicklung technischer Produkte. Methoden flexibel und situationsgerecht anwenden* (VDI-Buch, 3., korrigierte Aufl.). Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
<https://doi.org/10.1007/978-3-642-01423-9>
- Lohmeyer, Q. (2013). Menschzentrierte Modellierung von Produktentstehungssystemen unter besonderer Berücksichtigung der Synthese und Analyse dynamischer Zielsysteme. Dissertation. In A. Albers & S. Matthiesen (Hrsg.), *Forschungsberichte des IPEK - Institut für Produktentwicklung. Systeme, Methoden, Prozesse* (Bd. 59). Karlsruhe: Karlsruher Institut für Technologie (KIT).
<https://doi.org/10.5445/IR/1000035102>
- Maier, M. W. (1998). Architecting principles for systems-of-systems. *Systems Engineering*, 1(4), 267–284. Hoboken, New Jersey, USA: Wiley.
[https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1520-6858\(1998\)1:4<267::AID-SYS3>3.0.CO;2-D](https://doi.org/10.1002/(SICI)1520-6858(1998)1:4<267::AID-SYS3>3.0.CO;2-D)
- Mandel, C., Kaspar, J., Heitmann, R., Horstmeyer, S., Martin, A. & Albers, A. (2023). Implementation and Assessment of a Comprehensive Model-Based Systems Engineering Methodology with Regard to User Acceptance in Practice. *Procedia CIRP*, 119, 897–902. Amsterdam, Netherlands: Elsevier.
<https://doi.org/10.1016/j.procir.2023.03.135>
- Marxen, L. (2014). A Framework for Design Support Development based on the integrated Product Engineering Model iPeM. Dissertation. In A. Albers & S. Matthiesen (Hrsg.), *Forschungsberichte des IPEK - Institut für Produktentwicklung. Systeme, Methoden, Prozesse* (Bd. 59). Karlsruhe: Karlsruher Institut für Technologie (KIT).
<https://doi.org/10.5445/IR/1000045823>
- Mavin, A., Wilkinson, P., Harwood, A. & Novak, M. (2009). *Easy approach to requirements syntax (EARS)*. NY, USA: IEEE.
<https://doi.org/10.1109/RE.2009.9>
- Mohr, D., Müller, N., Krieg, A., Gao, P., Kaas, H., Krieger, A. et al. (2013). *The road to 2020 and beyond: What's driving the global automotive industry?* Stuttgart, Köln, Detroit: McKinsey&Company.
- Muschik, S. (2011). Development of Systems of Objectives in Early Product Engineering. Entwicklung von Zielsystemen in der frühen Produktentstehung. Dissertation. In A. Albers & S. Matthiesen (Hrsg.), *Forschungsberichte des*

- IPEK - Institut für Produktentwicklung. Systeme, Methoden, Prozesse (Bd. 50). Karlsruhe: Karlsruher Institut für Technologie (KIT). <https://doi.org/10.5445/IR/1000023768>
- Drawski, R., Hein, C., Polenov, D., Holle, M., Schenkl, S., Mörtl, M. et al. (2013). Reuse of Requirements: An Approach with a Generic Requirements Pool. In *19th International Conference on Engineering Design*. Glasgow, Schottland: The Design Society.
- Pacheco, C. L., Garcia, I. A., Calvo-Manzano, J. A. & Arcilla, M. (2015). A proposed model for reuse of software requirements in requirements catalog. *Journal of Software: Evolution and Process*, 27(1), 1–21. Hoboken, New Jersey, USA: Wiley. <https://doi.org/10.1002/sm.1698>
- Pahl, G., Beitz, W., Feldhusen, J. & Grote, K.-H. (2007). *Konstruktionslehre. Grundlagen erfolgreicher Produktentwicklung Methoden und Anwendung* (7. Aufl.). Berlin, Heidelberg, Deutschland: Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-540-34061-4>
- Palomares, C., Quer, C. & Franch, X. (2014). Requirements Reuse with the PABRE Framework. *Requirements Engineering Magazine*, 2014, <http://re-magazine.ireb.org/issues/2014>. Berlin, Deutschland: Springer.
- Palomares, C., Quer, C. & Franch, X. (2017). Requirements reuse and requirement patterns: a state of the practice survey. *Empirical Software Engineering*, 22(6), 2719–2762. Berlin, Deutschland: Springer. <https://doi.org/10.1007/s10664-016-9485-x>
- Panis, M. C. (2015). Reuse of architecturally derived Standards Requirements. In *2015 IEEE 23rd International Requirements Engineering Conference (RE)* (S. 296–304). NY, USA: IEEE.
- Ponn, J. & Lindemann, U. (2011). *Konzeptentwicklung und Gestaltung technischer Produkte. Systematisch von Anforderungen zu Konzepten und Gestaltlösungen* (VDI-Buch, 2. Aufl.). Berlin, Heidelberg, Deutschland: Springer-Verlag Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-20580-4>
- Probst, G. J. B. (2013). *Strategie-Leitfaden für die Praxis* (Springer eBook Collection). Wiesbaden, Deutschland: Springer Gabler. <https://doi.org/10.1007/978-3-658-01124-6>

- Pulm, U. (2004). *Eine systemtheoretische Betrachtung der Produktentwicklung* Dissertation. München: Technische Universität München.
- Ropohl, G. (1975). *Systemtechnik, Grundlagen und Anwendung. Mit 5 Tabellen.* München, Wien: Hanser.
- Ropohl, G. (2009). *Allgemeine Technologie: eine Systemtheorie der Technik.* Karlsruhe: Univ.-Verl. Karlsruhe.
- Rupp, C. & SOPHISTen, d. (2020). *Requirements-Engineering und -Management* (7., aktualisierte und erweiterte Auflage). München: Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG. <https://doi.org/10.3139/9783446464308>
- Ryan, M. (2013). *An Improved Taxonomy for Major Needs and Requirements Artifacts.* INCOSE. Hoboken, New Jersey, USA: Wiley.
<https://doi.org/10.1002/j.2334-5837.2013.tb03016.x>
- Ryan, M., Wheatcraft, L., Dick, J. & Zinni, R. (2015). On the Definition of Terms in a Requirements Expression. *INCOSE International Symposium*, 25. Hoboken, New Jersey, USA: Wiley. <https://doi.org/10.1002/j.2334-5837.2015.00055.x>
- Salado, A. (2021). A systems-theoretic articulation of stakeholder needs and system requirements. *Systems Engineering*, 24(2), 83–99. Hoboken, New Jersey, USA: Wiley. <https://doi.org/10.1002/sys.21568>
- Sauerwein, E., Bailom, F., Matzler, K. & Hinterhuber, H. (1996). The Kano Model: How to Delight Your Customers. *Journal of Product & Brand Management*. Bingley, Vereinigtes Königreich: Emerald Publishing Limited.
- Schlegel, M., Wiederkehr, I., Rapp, S., Koldewey, C., Albers, A. & Dumitrescu, R. (2023). Ontology for Future-robust Product Portfolio Evolution: A Basis for the Development of Models and Methods. *Procedia CIRP*, 119, 764–769. Amsterdam, Niederlande: Elsevier. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2023.01.017>
- Schumpeter, J. A. (1939). *Business cycles: A theoretical, historical, and statistical analysis of the capitalist process* (Reprint of first abridged edition (1964)). Philadelphia, PA: Porcupine Press.
- Shahin, T. M. M., Andrews, P. T. J. & Sivaloganathan, S. (1999). A design reuse system. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal*

- of Engineering Manufacture*, 213(6), 621–627. London, Vereinigtes Königreich: SAGE Publications. <https://doi.org/10.1243/0954405991517065>
- Shearer, C. (2000). The CRISP-DM model: the new blueprint for data mining. *Journal of data warehousing*, 13–22. Hershey, Pennsylvania, USA: IGI Global.
- Sindre, G., Conradi, R. & Karlsson, E.-A. (1995). The REBOOT approach to software reuse. *Journal of Systems and Software*, 30(3), 201–212. Amsterdam, Niederlande: Elsevier.
[https://doi.org/10.1016/0164-1212\(94\)00134-9](https://doi.org/10.1016/0164-1212(94)00134-9)
- Sommerville, I. & Ransom, J. (2005). An Empirical Study of Industrial Requirements Engineering Process Assessment and Improvement. *ACM Trans. Softw. Eng. Methodol.*, 14(1), 85–117. NY, USA: Association for Computing Machinery. <https://doi.org/10.1145/1044834.1044837>
- Stachowiak, H. (1973). *Allgemeine Modelltheorie*. Wien, Österreich: Springer.
- Stallinger, F. & Neumann, R. (2013). Enhancing ISO/IEC 15288 with reuse and product management: An add-on process reference model. *Computer Standards & Interfaces*, 36(1), 21–32. NY, USA: Association for Computing Machinery. <https://doi.org/10.1016/j.csi.2013.07.006>
- Stallinger, F., Neumann, R., Vollmar, J. & Plösch, R. (2011). Reuse and Product-orientation as Key Elements for Systems Engineering: Aligning a Reference Model for the Industrial Solutions Business with ISO/IEC 15288. In *Proceedings of the 2011 International Conference on Software and Systems Process*. NY, USA: Association for Computing Machinery.
- Suh, N. P. (1990). *The principles of design* (Oxford series on advanced manufacturing, vol. 6). NY, USA: Oxford Univ. Press. Retrieved from <http://www.loc.gov/catdir/enhancements/fy0602/88019584-d.html>
- Thiel, S. & Hein, A. (2002). Modelling and using product line variability in automotive systems. *IEEE Software*, 19(4), 66–72. NY, USA: IEEE:
<https://doi.org/10.1109/MS.2002.1020289>
- Thomke, S. & Fujimoto, T. (2000). The Effect of Front-Loading Problem-Solving on Product Development Performance. *Journal of Product Innovation*

- Management*, 17, 128–142. Hoboken, New Jersey, USA: Wiley.
[https://doi.org/10.1016/S0737-6782\(99\)00031-4](https://doi.org/10.1016/S0737-6782(99)00031-4)
- Toval, A., Moros Valle, B., Nicolás Ros, J. & Lasheras, J. (2008). Eight key issues for an effective reuse-based requirements process. *Computer Systems Science and Engineering*, 23, 373–385. Tech Science Press.
- Toval, A., Nicolás, J., Moros, B. & García, F. (2002). Requirements Reuse for Improving Information Systems Security: A Practitioner's Approach. *Requirements Engineering*, 6(4), 205–219. Berlin, Deutschland: Springer.
<https://doi.org/10.1007/PL00010360>
- Utterback, J. M. & Abernathy, W. J. (1975). A dynamic model of process and product innovation. *Omega*, 3(6), 639–656. Amsterdam, Niederlande: Elsevier.
[https://doi.org/10.1016/0305-0483\(75\)90068-7](https://doi.org/10.1016/0305-0483(75)90068-7)
- Vallejo, P., Mazo, R., Jaramillo, C. & Medina, J. (2020). Towards a new template for the specification of requirements in semi-structured natural language. *Journal of Software Engineering Research and Development*, 8, 3. Berlin, Deutschland: Springer. <https://doi.org/10.5753/jserd.2020.473>
- VDA A-SPICE. (2017). *Automotive SPICE Process Assessment / Reference Model* (3.1). Berlin, Deutschland: VDA.
- VDI, 2221-1:2019 (2019-11). *Entwicklung technischer Produkte und Systeme Modell der Produktentwicklung*. Berlin, Deutschland: Beuth Verlag.
- VDI, 2206 (2020-09). *Entwicklung cyber-physischer mechatronischer Systeme (CPMS)*. Berlin, Deutschland: Beuth Verlag.
- Verworn, B. (2005). *Die frühen Phasen der Produktentwicklung. Eine empirische Analyse in der Mess-, Steuer- und Regelungstechnik* (Forschungs- / Entwicklungs-/Innovations-Management, Gabler Edition Wissenschaft). Wiesbaden, s.l.: Deutscher Universitätsverlag.
<https://doi.org/10.1007/978-3-663-09708-2>
- Vester, F. (2015). *Die Kunst vernetzt zu denken. Ideen und Werkzeuge für einen neuen Umgang mit Komplexität ; ein Bericht an den Club of Rome ; [der neue Bericht an den Club of Rome* (dtv Wissen, Bd. 33077, 10. Aufl.). München: Dt. Taschenbuch-Verl.

- Wagenmann, S., Bursac, N., Rapp, S. & Albers, A. (2022). Success Factors for the Validation of Requirements for New Product Generations – A Case Study on Using Field Gathered Data. *Proceedings of the Design Society*, 2, 1805–1814. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
<https://doi.org/10.1017/pds.2022.183>
- Wagenmann, S., Krause, A., Rapp, S., Albers, A., Sommer, L. & Bursac, N. (2022). Application and Adaptation of a Process Model for the Data-Driven Validation of the System of Objectives. In *IEEE International Symposium on Systems Engineering*. NY, USA: IEEE.
<https://doi.org/10.1109/ISSE54508.2022.10005430>
- Wagenmann, S., Krause, A., Rapp, S., Hünemeyer, S., Albers, A. & Bursac, N. (2022). Process Model for the Data-driven Identification of Machine Function Usage for the Reduction of Machine Variants. In *2022 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM)*. NY, USA: IEEE. <https://doi.org/10.1109/IEEM55944.2022.9989909>
- Wagenmann, S., Zuefle, M., Weidinger, F., Heinzelmann, L., Rapp, S., Bursac, N. et al. (2023). Data-driven modelling of the functional level in model-based systems engineering – Optimization of module scopes in modular development. *Procedia CIRP*, 119, 1047–1052. Amsterdam, Netherlands: Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2023.03.147>
- Walter, B., Albers, A., Haupt, F. & Bursac, N. (2016). Produktentwicklung im virtuellen Ideenlabor - Konzipierung und Implementierung eines Live-Lab. In *Design for X : Beiträge zum 27. DfX-Symposium Oktober 2016*. Hrsg.: Kraus, D.; Dieter Krause, Kristin Paetzold; Kraus, D.; Dieter Krause, Kristin Paetzold (S. 283–295). Hamburg, Deutschland: TuTech Innovation Verlag.
- Ward, D., Pichika, H. V. & Sullivan, B. (2018). Assessment and Tailoring of Technical Processes: A practitioners experience. In *Proceedings of the 4th INCOSE Italia Conference on Systems Engineering*. CEUR.
- Wäschle, M., Timucin, M., Radimersky, A., Mandel, C., Fahl, J. & Hirschter, T. (2021). Vorgehen zur systematischen Verknüpfung von Produktanforderungen und Systemarchitektur unter Berücksichtigung der PGE. In *Stuttgarter Symposium für Produktentwicklung SSP2021*. Stuttgart: Fraunhofer Verlag.

- Wasson, C. S. (2015). *System Analysis, Design, and Development. Concepts, Principles, and Practices* (Wiley Series in Systems Engineering and Management Ser). Somerset: John Wiley & Sons Incorporated.
- Weilkiens, T. (2007). Systems Engineering with SysML / UML – Modeling, Analysis, Design. MK/OMG Press, Feb, 12. Heidelberg, Deutschland: dpunkt.verlag.
- Wessels, H., Heimicke, J., Rapp, S., Grauberger, P., Richter, T., Matthiesen, S. et al. (2019). Sprint planning in mechatronic system development based on reference system elements. In *17. Gemeinsames Kolloquium Konstruktionstechnik, KT2019, Aachen, Germany*. Aachen, Deutschland: Shaker Verlag. <https://doi.org/10.18154/RWTH-2019-08788>
- Wiedemann, E. (2014). *Ableitung von Elektrofahrzeugkonzepten aus Eigenschaftszielen* (1st ed.). Göttingen: Cuvillier Verlag. Verfügbar unter: <https://ebookcentral.proquest.com/lib/kxp/detail.action?docID=5022290>
- Wiegers, K. E. & Beatty, J. (2013). *Software requirements* (Best practices, 3. ed. [fully updated and expanded]). Redmond, Washington, USA: Microsoft Press.
- Winkelhake, U. (2021). *Die Digitale Transformation der Automobilindustrie. Treiber - Roadmap - Praxis* (2nd ed.). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin / Heidelberg. Verfügbar unter: <https://ebookcentral.proquest.com/lib/kxp/detail.action?docID=6461908>
- Wynn, D., Eckert, C. & Clarkson, P. (2012). Modelling iteration in engineering design. In *16th International Conference on Engineering Design*. Glasgow, Schottland: The Design Society.
- Xiao, Y. & Watson, M. (2017). Guidance on Conducting a Systematic Literature Review. *Journal of Planning Education and Research*, 39, 0739456X1772397. Thousand Oaks, Kalifornien, USA: Sage Publications. <https://doi.org/10.1177/0739456X17723971>
- Y. Nishiura, M. Asano & T. Nakanishi (2018). Migration to Software Product Line Development of Automotive Body Parts by Architectural Refinement with Feature Analysis. In *2018 25th Asia-Pacific Software Engineering Conference (APSEC)* (S. 522–531). NY, USA: IEEE.

- Ya'u, B., Nordin, A. & Salleh, N. (2016). Investigation of Requirements Reuse (RR) Challenges and Existing RR Approaches. In *Advanced Research for Engineering and Information Technology International Conference*. Berlin, Deutschland: Springer.
- Zhang, Z., Nummenmaa, J., Guo, J., Ma, J. & Wang, Y. (2011). Patterns for Activities on Formalization Based Requirements Reuse. In Y. Wang & T. Li (Hrsg.), *Knowledge Engineering and Management* (S. 695–707). Berlin, Heidelberg, Deutschland: Springer.

Studentische Abschlussarbeiten die im Kontext dieser Dissertation am IPEK – Institut für Produktentwicklung am Karlsruher Institut für Technologie (KIT) vom Autor Co-betreut wurden:

- Dogru, M. (2023). *Entwicklung eines Frameworks zur methodischen Unterstützung der Anforderungsvariation im Systems Engineering am Fallbeispiel eines Sportwagenherstellers. Thesis Universität Stuttgart, Sperrvermerk bis 2028.* Masterarbeit, Institut für Arbeitswissenschaft und Technologiemanagement. Stuttgart: Universität Stuttgart.
- Eckhardt, A. (2021). *Methodische Unterstützung Systems-Engineering-basierter Wiederverwendung von Anforderungen in der Sportwagenentwicklung. Thesis Ruhr-Universität Bochum, Sperrvermerk bis 2026.* Masterarbeit, Lehrstuhl für Produktentwicklung. Bochum: Ruhr-Universität Bochum.
- Fisch, P. (2022). *Methodische Unterstützung zum Systems-Engineering-basierten Zusammenspiel von Bedarfen und Anforderungen in der Sportwagenentwicklung. IPEK-Thesis, Nr. 4425, Sperrvermerk bis 2027.* Masterarbeit, IPEK – Institut für Produktentwicklung. Karlsruhe: Karlsruher Institut für Technologie (KIT).
- Haas, M. (2023). *Etablierung eines Systems-Engineering-basierten Wikis für das Wissensmanagement von Grenzbetriebsbedingungen in der Sportwagenentwicklung. IPEK-Thesis, Nr. 4550, Sperrvermerk bis 2028.* Masterarbeit, IPEK – Institut für Produktentwicklung. Karlsruhe: Karlsruher Institut für Technologie (KIT).
- Reichert, F. (2022). *Stakeholder-Bedarfe im Systems Engineering – Eine Begriffsdefinition und methodische Unterstützung für die Sportwagenentwicklung. IPEK-Thesis, Nr. 4516, Sperrvermerk bis 2027.* Masterarbeit, IPEK – Institut für Produktentwicklung. Karlsruhe: Karlsruher Institut für Technologie (KIT).
- Wellmann, S. (2021). *Einführung von Prozessen und Methoden des Systems Engineerings am Beispiel des Anforderungsmanagements bei der Entwicklung von Sportwagen. Thesis Hochschule Pforzheim, Sperrvermerk bis 2026.* Bachelorarbeit. Pforzheim: Hochschule Pforzheim.

Wissenschaftliche Vorveröffentlichungen unter Mitauteorschafft des Autors dieser Dissertation

- Albers, A., Hünemeyer, S., Kubin, A., Pfaff, F., Schlegel, M. & Rapp, S. (2023). Modelling Technical Systems in the Early Phase: Proposing a Formal Definition for the System Concept. *Proceedings of ICED 23. 24th International Conference on Engineering Design, Bordeaux, France*. Glasgow, Scotland, UK: The Design Society.
- Albers, A., Kempf, C., Haberkern, P., Mandel, C., Kubin, A., Wagenmann, S. et al. (vsl. 2025). The Reference System in Product Generation Engineering: Structuring Reference System Elements for Advanced Systems Engineering Based on the System Triple. *Design Science*. Cambridge, UK: Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/dsj.2024.41>
- Albers, A., Kubin, A., Eckhardt, A., Rapp, S. & Kempf, C. (2022). Systems-Engineering-based Requirements Reuse in Accordance with Stakeholder Needs in Automotive Product Development. In *2022 IEEE International Symposium on Systems Engineering (ISSE)* (S. 1–8). Wien, Österreich: IEEE <https://doi.org/10.1109/ISSE54508.2022.10005513>.
- Albers, A., Kubin, A., Hünemeyer, S., Reichert, F., Fisch, P. & Rapp, S. (vsl. 2025). Combining strategic foresight and automotive requirements engineering in the model of SGE - system generation engineering. *Design Science*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Hünemeyer, S., Bauer, J., Wagenmann, S., Kubin, A. & Albers, A. (2023). Datengestützte SGE – Systemgenerationsentwicklung: Konzeption und Anwendung einer Methode zur Synthese von Anforderungen aus Produktnutzungsdaten. *17. Symposium für Vorausschau und Technologieplanung*. Paderborn, Deutschland: Heinz Nixdorf Institut.
- Kubin, A., Etri, M., Duehr, K., Rapp, S., Abers, A., Eckhardt, A. et al. (2022). Herausforderungen bei der Systems-Engineering-basierten Definition von Anforderungen anhand von Bedarfen in der Automobilentwicklung. *16.*

Symposium für Vorausschau und Technologieplanung. Paderborn,
Deutschland: Heinz Nixdorf Institut.

Kubin, A., Wagenmann, S., Reichert, F., Mandel, C. & Albers, A. (2023).
Stakeholder Needs in Systems Engineering: A Proposal for a Formal
Definition. *IEEE International Systems Conference*. NY, USA: IEEE.

Nell, M., Kubin, A. & Hameyer, K. (2021a). Approach for the Model and Parameter
Selection for the Calculation of Induction Machines. *Energies*, 14(18). Basel,
Schweiz: MDPI. <https://doi.org/10.3390/en14185623>

Nell, M., Kubin, A. & Hameyer, K. (2021b). Multi-Stage Optimization of Induction
Machines Using Methods for Model and Parameter Selection. *Energies*,
14(17). Basel, Schweiz: MDPI. <https://doi.org/10.3390/en14175537>

Glossar

Frühe Phase	Die Frühe Phase der SGE – Systemgenerationsentwicklung ist eine Phase im Entwicklungsprozess einer neuen Systemgeneration, die mit der Initiierung eines Projektes beginnt und mit einer bewerteten technischen Lösung endet, die 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 z.B. der Produzierbarkeit, der notwendigen Ressourcen sowie des technischen und ökonomischen Risikos. (vgl. Definition 3)
Systemgenerations-entwicklung	Als Systemgenerationsentwicklung wird die Entwicklung sozio-technischer Systeme verstanden, die sowohl durch die Anpassung von Teilsystemen [...] als Übernahmevariation [...] als auch durch eine Neuentwicklung von Teilsystemen charakterisiert ist. Darin eingeschlossen sind sowohl die Entwicklung einer neuen Produktgeneration, als auch deren Derivate bzw. Varianten. Die Anteile technischer Neuentwicklungen einzelner Funktionseinheiten können sowohl durch die Aktivität Ausprägungsvariation [...] als auch durch die Variation von Lösungsprinzipien – [...] als Aktivität Prinzipvariation [...] bezeichnet – erfolgen. Neue Systemgenerationen basieren immer auf Referenzen, die große Bereiche der grundsätzlichen Struktur vorgeben. Wird das zu entwickelnde System als Produkt wahrgenommen spricht man auch von PGE – Produktgenerationsentwicklung.
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 Systemgeneration explizit vorgibt. Ein Nutzenbündel

wird hierbei verstanden als eine Gesamtheit aus Produkten und Dienstleistungen, 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. (vgl. Definition 1)

Stakeholder-Bedarf Ein Stakeholder-Bedarf ist ein Zielsystem-Elementtyp. Dieser ist eine oft abstrakte technische oder ökonomische Erwartung an ein (Sub)-System, unabhängig von der technischen Lösung und der Zielerreichung. (vgl. Definition 6)

Systemkonzept Ein Systemkonzept im Modell der SGE – Systemgenerationsentwicklung ist ein Konzept eines technischen Systems, das die aus dem Produkprofil abgeleiteten Ziele und Anforderungen an ein System sowie die Systemarchitektur und die zugehörigen Referenzsystemelemente und Variationsanteile unter Berücksichtigung der Randbedingungen definiert und der Validierung zugänglich macht. (vgl. Definition 5)

Systems Engineering SE – Systems Engineering ist ein interdisziplinärer Ansatz zur Unterstützung der Realisierung von erfolgreichen Systemen. SE fokussiert darauf, die Kundenbedürfnisse und die geforderte Funktionalität möglichst früh im Entwicklungsprozess zu definieren, die Anforderungen zu dokumentieren und dann mit dem Systementwurf und der Systemvalidierung fortzufahren, während dabei zugleich das gesamte Problem im Blick behalten wird [...]. Durch SE werden alle Fachdisziplinen in einem Teamansatz zusammengefasst, in dem ein strukturierter Entwicklungsprozess vom Konzept über die Herstellung bis zur Verwendung des Systems beschrieben wird. Systems Engineering betrachtet sowohl die wirtschaftlichen als auch die technischen Bedarfe aller Kunden, mit dem Ziel, ein qualitativ hochwertiges Produkt zu schaffen, das den Bedarfen des Kunden gerecht wird. (vgl. Definition 4)