

Valentin Zimmermann

**Methoden der initialen Zielsystementwicklung
zur Unterstützung beim Umgang mit
Marktunsicherheiten in der Entwicklung von
anlagentechnischem Brandschutz im Modell
der PGE – Produktgenerationsentwicklung**

Methods to support the development of the initial system of objectives regarding the handling of market uncertainties in the development of fire safety systems in the model of PGE – Product Generation Engineering

Band 167

Systeme ■ Methoden ■ Prozesse

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

Valentin Zimmermann

**Methoden der initialen Zielsystementwicklung zur
Unterstützung beim Umgang mit Marktunsicherheiten in
der Entwicklung von anlagentechnischem Brandschutz
im Modell der PGE – Produktgenerationsentwicklung**

Methods to support the development of the initial system of objectives regarding the handling of market uncertainties in the development of fire safety systems in the model of PGE – Product Generation Engineering

Band 167

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

Copyright IPEK - Institut für Produktentwicklung, 2023
Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
Die Forschungsuniversität in der Helmholtz-Gemeinschaft
Alle Rechte vorbehalten

ISSN 1615-8113

Methoden der initialen Zielsystementwicklung zur Unterstützung beim Umgang mit Marktunsicherheiten in der Entwicklung von anlagentechnischem Brandschutz im Modell der PGE – Produktgenerationsentwicklung

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

M.Sc. Valentin Zimmermann

Tag der mündlichen Prüfung: 27.03.2023
Hauptreferent: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c. Albert Albers
Korreferent: Prof. Dr.-Ing. Roman Dumitrescu

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 komplette Antriebslösungen für Fahrzeuge und Maschinen,
- das Design, die Tribologie und Erprobung von Kupplungen und Bremsen sowie
- die Gerätetechnik mit dem Schwerpunkt auf Power-Tools.

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

Albert Albers und Sven Matthiesen

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

Vorwort zu Band 167

Die modernen Produkte in allen Bereichen sind heute hochgradig mechatronisch ausgestattet. Diese mechatronischen Lösungen – zum Beispiel im Fahrzeugbau, im Werkzeugmaschinenbau, aber auch in den Bereichen von Geräten oder Haustechnik – stellen ganz andere Anforderungen an die Entwicklungsprozesse wie noch vor der Jahrtausendwende. Die Komplexität und Kompliziertheit, auch bei vom Umfang her kleinen Produktlösungen, sind so groß geworden, dass auch mittelständische Unternehmen neue Entwicklungsprozesse benötigen, um hier erfolgreich sein zu können. Natürlich gilt dies auch für Lösungen im Bereich der Mobilität und der technischen Infrastruktur, oder auch des Anlagenbaus, die dann von ganzen Zuliefererteams, gemeinsam mit einem OEM, erstellt werden. Es steigt damit aber natürlich auch das Risiko des Produktfehlschlages, oder zumindest von potentiellen Mängeln. Gleichzeitig ist durch die Globalisierung ein weltweiter Käufermarkt entstanden, in dem die Kunden und Anwender in einem sehr großen Angebot nach ihrer „Wunsch-Lösung“ suchen und auswählen können. Diese zusätzlichen Möglichkeiten des Vergleichens und der individuellen Optimierung der Lösungen für den jeweiligen Kunden führt dazu, dass die zukünftigen Bedürfnisse des Kunden möglichst früh und gut verstanden werden müssen, um somit Produkte entwickeln zu können, die nicht nur inventiv – im Sinne neu, sondern auch innovativ – also erfolgreich im Markt sind!

Die *Karlsruher Schule für Produktentwicklung* – KaSPro arbeitet auf dem gesamten Gebiet der neuen Entwicklungsprozesse für die Produktentstehung auf der Basis von Systems Engineering-Ansätzen seit vielen Jahren. Insbesondere mit dem Modell der *PGE – Produktgenerationsentwicklung* nach ALBERS, heute erweitert zur *SGE – Systemgenerationsentwicklung* nach ALBERS, liegt ein Beschreibungsmodell vor, mit dem die Produktentwicklungs- und Produktentstehungsprozesse in ganz neuer Art und Weise beschrieben werden können. Das Konzept, das jede Art von Produktentwicklung immer auf Basis von Referenzen, die gemeinsam ein Referenzsystem bilden, durch gezielte kreative Variation entsteht, beschreibt die Praxis in sehr guter Weise. Grundsätzlich wird der Weg zur Innovation geprägt von drei notwendigen Elementen:

Die Innovationsgleichung der KaSPro besagt, dass ein **hochwertiges Produktprofil**, das den Kunden-, den Anwender- und den Anbieternutzen beschreibt, durch eine **kreative Invention** in eine technische Lösung überführt werden muss, die dann final noch über einen entsprechenden **Markteintritt** – oder Marktzugang – in die Märkte etabliert werden muss. Dieser Innovationsprozess kann dafür sorgen, dass die **Innovationspotentiale von neuen Produktlösungen** in den Unternehmen von Anfang an hoch sind. Notwendig ist dazu allerdings ein entsprechendes **Produktprofil**, beziehungsweise ein gut belegtes initiales Zielsystem, das die Kunden- und Marktanforderungen möglichst gut beinhaltet, um diese den Produktentwickelnden für die weitere Lösungssynthese zur Verfügung zu stellen. Hierzu sind neue Methoden der initialen

Zielsystementwicklung erforderlich. Die initiale Zielsystementwicklung bzw. Produktprofil-Entwicklung muss dabei von Anfang an im Team aus **Produktentwickelnde und Experten anderer Fachbereiche wie Marketing, Verkauf, Produktplanung bis hin zur Produktion** erfolgen. Nur so ist eine ganzheitliche Produktprofilentwicklung unter der Berücksichtigung der Marktunsicherheiten und gleichzeitige Inkubation der Produktentwickelnden im Sinne der späteren Lösungssynthese sichergestellt. Das klassische „Lastenheftdenken“ ist für die heutigen Herausforderungen nicht geeignet.

An dieser Stelle setzt die Arbeit von Herrn Dr.-Ing. Valentin Zimmermann an. Er hat im Konzept der mitarbeitenden Forschung in einem Unternehmen für den anlagentechnischen Brandschutz die Herausforderungen erforscht, die die Berücksichtigung der Marktunsicherheiten bei der Definition initialer Zielsysteme für Produkte ergeben. Auf Basis dieser Analyse hat Herr Dr.-Ing. Zimmermann dann entsprechende methodische Lösungen erarbeitet und validiert. Diese können unmittelbar in der Praxis eingesetzt werden.

März, 2023

Albert Albers

Kurzfassung

Im Rahmen der vorliegenden Forschungsarbeit wird der Umgang mit Marktunsicherheiten in der Produktentwicklung untersucht. Dahingehend werden vier Methoden zur Entwicklung des initialen Zielsystems dargelegt, mit dem Ziel Produktentwickelnde beim Umgang mit Marktunsicherheiten zu unterstützen und damit zur Entwicklung der aus Kunden- und Anwendersicht richtigen Produkte zu befähigen.

In der Literatur werden verschiedene Ansätze zum Umgang mit Unsicherheiten angeführt, wobei die auftretenden Unsicherheiten vielfältig hinsichtlich Ausprägung und Ursprung sind. Die Validierung bildet die zentrale Aktivität zur Generierung von Wissen und damit zur Reduktion von Unsicherheiten. Allerdings belegen die durchgeführten Untersuchungen, dass der Stellenwert der Validierung in der Untersuchungsumgebung Hekatron Brandschutz eher gering ist, was insbesondere darauf zurückzuführen ist, dass den Produktentwickelnden die vorliegenden Marktunsicherheiten und deren Bedeutung für die Produktentwicklung nicht ausreichend bewusst sind.

Folglich gilt es, das Bewusstsein der Produktentwickelnden für die vorliegenden Marktunsicherheiten zu sensibilisieren. Diesbezüglich werden vorliegend vier Methoden zur Unterstützung der Aktivitäten der initialen Zielsystementwicklung hinsichtlich der systematischen Identifikation und Reduktion von Marktunsicherheiten abgeleitet:

- **Initiales Zielsystem ableiten:** Integration der Kunden- und Anwendersicht in die Auswahl geeigneter zu differenzierenden Produkteigenschaften und zugehörigen Referenzen, um die entsprechende Zufriedenheit zu steigern
- **Initiales Zielsystem erweitern:** Nutzung des durch die Referenzen verfügbaren Wissens zur Erhebung der aus Kunden- und Anwendersicht relevanten Ziele und Anforderungen
- **Initiales Zielsystem bewerten:** Systematische Bewertung der identifizierten Zielsystemelemente hinsichtlich der vorliegenden Marktunsicherheit, um diese den Produktentwickelnden stärker bewusst zu machen
- **Initiales Zielsystem validieren:** Auswahl und Aufbau von Minimum Viable Products zur Validierung der mit Marktunsicherheiten behafteten Zielsystemelemente zur Reduktion ebendieser Unsicherheiten

Die Methoden werden abschließend in zwei Fallstudien angewendet und evaluiert. Durch eine Test- und Kontrollgruppenstudie, die im Zuge der ersten Fallstudie erfolgt, wird ermittelt, dass das Bewusstsein der Produktentwickelnden der Testgruppe für die vorliegenden Marktunsicherheiten durch die Methodenanwendung ansteigt, während bei der Kontrollgruppe keine Veränderung beobachtet werden kann. Im Rahmen der zweiten Fallstudie bewerten Experten die vorliegende Marktunsicherheit vor und nach der Methodenanwendung, wodurch ersichtlich wird, dass diese durch die konsekutive Anwendung der vier Methoden kontinuierlich gesenkt werden kann.

Abstract

In the context of this research thesis, the way of dealing with market uncertainties in product engineering is investigated. Therefore, four methods for the development of the initial system of objectives are outlined in order to support product developers dealing with market uncertainties and thus enable them to develop the right products from the customer's and user's point of view.

Various approaches to deal with uncertainties are presented in literature, whereby the uncertainties that occur are diverse in terms of their characteristics and their origin. Validation is the key activity to generate knowledge and thus to reduce uncertainties. However, the research made shows that the relevance of validation in the research environment Hekatron Brandschutz is rather low, mainly due a lack of awareness regarding market uncertainties and their importance for product development among the product developers.

Consequently, it is important to increase the awareness of the product developers for the existing market uncertainties. In this regard, four methods to support the activities during the development of the initial system of objectives with regard to the systematic identification and reduction of market uncertainties are derived:

- **Derive the initial system of objectives:** Integration of the customer and user perspective in the selection of suitable product features to be differentiated and associated references to increase the corresponding satisfaction
- **Extend the initial system of objectives:** Use the knowledge available through the references to elicit the relevant objectives and requirements from a customer and user perspective
- **Evaluate the initial system of objectives:** Systematic evaluation of the identified elements of the system of objectives with regard to the existing market uncertainty, in order to increase awareness among the product developers
- **Validate the initial system of objectives:** Selection and development of Minimum Viable Products for validation of the elements of the system of objectives that are subject to market uncertainties in order to reduce these uncertainties

Finally, the methods are applied and evaluated in two case studies. A test and control group study, which takes place in the course of the first case study, determines that the awareness for the market uncertainties of the product developers in the test group increases through the application of the method, while no change can be observed in the control group. In the second case study, experts evaluate the existing market uncertainty before and after the application of each method, showing that the uncertainty can be continuously reduced by applying the four methods consecutively.

Danksagung

Die vorliegende Arbeit entstand im Rahmen einer Kooperation zwischen dem IPEK – Institut für Produktentwicklung am Karlsruher Institut für Technologie (KIT) und der Hekatron Vertriebs GmbH. Dabei war ich als wissenschaftlicher Mitarbeiter am IPEK und als Projektleiter in der Abteilung Forschung und Entwicklung bei Hekatron Brandschutz tätig. An dieser Stelle möchte ich den Personen danken, die mich auf dem Weg zur Erstellung dieser Arbeit unterstützt haben.

Mein besonderer Dank gilt meinem Doktorvater Herrn Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. Albert Albers. Sehr geehrter Herr Professor Albers, ich danke Ihnen für Ihre Leidenschaft mit der Sie mich über die letzten Jahre stets gefordert und gefördert haben, sodass ich mich nicht nur fachlich, sondern auch persönlich weiterentwickeln konnte.

Sowohl für die wertvollen Anregungen am Ende meines Promotionsprojekts als auch die Übernahme des Koreferats möchte ich mich herzlich bei Herrn Prof. Dr.-Ing. Roman Dumitrescu bedanken.

Für die Übernahme des Prüfungsvorsitzes bedanke ich mich bei Frau Prof. Dr.-Ing. Luise Kärger.

Außerdem möchte ich mich an dieser Stelle bei Herrn Prof. Dr.-Ing. Nikola Bursac meinem Paten der Gesellschaft für Produktentwicklung (GfP) bedanken. Lieber Niko, ich danke Dir für die vielen Forschungsabende, in denen wir nicht ausschließlich fachlich diskutiert haben, sondern Du es auch immer wieder geschafft hast, mich zu ermutigen die frühe Validierung nicht nur in der Produktentwicklung, sondern auch in der Methodenforschung zu forcieren.

Für die wertvollen Diskussionen und die freundschaftliche Zusammenarbeit im Rahmen diverser Forschungsgespräche, aber auch nach Feierabend und bei diversen Teamevents möchte ich allen Mitarbeitenden des IPEKs und insbesondere den Kolleginnen und Kollegen der EMM danken. Herrn Christoph Kempf möchte ich zusätzlich für das Korrekturlesen meiner Arbeit danken. Darüber hinaus bedanke ich mich bei allen von mir betreuten Abschlussarbeiterinnen und Abschlussarbeitern, die durch ihre Forschung zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben.

Herrn Dr.-Ing. Thomas Alink möchte ich meinen persönlichen Dank aussprechen. Lieber Thomas, vielen Dank dafür, dass Du damals die Idee hattest eine Kooperation zwischen der Hekatron und dem IPEK zu initiieren und Du mir das Vertrauen geschenkt hast, diese Kooperation zu begleiten. Darüber hinaus danke ich Dir für unsere Forschungsabende, die maßgeblich zum Erfolg dieser Arbeit beigetragen haben.

Meinen Arbeitskolleginnen und -kollegen der Firma Hekatron Brandschutz gilt mein besonderer Dank. Danke, dass ich fünf Jahre lang Tag für Tag etwas Unsicherheit in Eure Arbeitsleben bringen durfte. Außerdem möchte ich Euch dafür danken, dass Ihr mir in den hitzigen Phasen der Erstellung dieser Arbeit stets den Rücken freigehalten habt und auch immer für eine geeignete Ablenkung gesorgt habt. Meinen besonderen Dank möchte ich dabei stellvertretend meinen beiden Vorgesetzten Herrn Dipl.-Ing. Tobias Krämer – auch für das Korrekturlesen der Arbeit – und Herrn Dr.-Ing. Bernhard Feuchter aussprechen.

Nicht zuletzt möchte ich mich bei meiner Familie – meinen Eltern Gisela und Jürgen, meinem Bruder Felix und seiner Partnerin Anna – bedanken. Danke, dass Ihr mich immer unterstützt. Ohne Euch wäre dies alles nicht möglich gewesen.

Bruchsal, den 09.04.2023
Valentin Zimmermann

„It ain't what you don't know that gets you into trouble. It's what you know for sure that just ain't so.“

- Mark Twain (1835-1910)

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung	i
Abstract	iii
Abbildungsverzeichnis	xiii
Tabellenverzeichnis	xxvii
Abkürzungsverzeichnis	xxix
1 Einleitung	1
2 Grundlagen und Stand der Forschung	5
2.1 Grundlagen zur Entwicklung innovativer, mechatronischer Systeme	5
2.1.1 Innovation in der Produktentwicklung	5
2.1.2 Prozessmodelle der Produktentwicklung	14
2.1.3 Agile Ansätze der Mechatroniksystementwicklung	30
2.1.4 Zwischenfazit.....	34
2.2 Zielsysteme im Modell der PGE – Produktgenerationsentwicklung	35
2.2.1 Modell der PGE – Produktgenerationsentwicklung	35
2.2.2 Zielsysteme in der Produktentwicklung.....	39
2.2.3 Zwischenfazit.....	65
2.3 Unsicherheiten in der Zielsystementwicklung	66
2.3.1 Umgang mit Marktunsicherheiten	74
2.3.2 Validierung: zentrale Aktivität zur Wissensgenerierung	81
2.3.3 Zwischenfazit.....	95
2.4 Fazit	96
3 Zielsetzung und Vorgehensweise	97
3.1 Forschungsbedarf und Zielsetzung der Arbeit	97
3.1.1 Forschungsthese und Forschungsfragen der Arbeit	99
3.2 Vorgehensweise.....	100
3.2.1 Forschungsmethode	100
3.2.2 Empirische Methoden	101
3.2.3 Forschungsumgebung: Hekatron Brandschutz	103
3.3 Fazit	105
4 Umgang mit Marktunsicherheiten in der Entwicklung von anlagentechnischem Brandschutz	107
4.1 Prozessanalyse in der Entwicklung von anlagentechnischem Brandschutz	108
4.1.1 Studiendesign.....	108
4.1.2 Ergebnisse der Prozessanalyse	112

4.1.3	Zwischenfazit	116
4.2	Interviewstudie zum Umgang mit Marktunsicherheiten in der Entwicklung von anlagentechnischem Brandschutz.....	117
4.2.1	Studiendesign	117
4.2.2	Ergebnisse der mehrstufigen empirischen Untersuchung	120
4.2.3	Zwischenfazit	137
4.3	Methodenprofil zur Unterstützung der Zielsystementwicklung.....	137
4.3.1	Studiendesign	139
4.3.2	Ergebnisse der Interviewstudien zur Ermittlung des Methodenprofils	142
4.3.3	Zwischenfazit	153
4.4	Fazit	155
5	Methoden zum Umgang mit Marktunsicherheiten bei der initialen Zielsystementwicklung	157
5.1	Initiales Zielsystem ableiten	159
5.1.1	Methode zur Auswahl von Referenzsystemelementen im Modell der PGE – Produktgenerationsentwicklung.....	160
5.1.2	Zwischenfazit	166
5.2	Initiales Zielsystem erweitern	167
5.2.1	Methode zur Integration von Kunden und Anwendern in die Erweiterung und Konkretisierung von Zielsystemen.....	168
5.2.2	Zwischenfazit	171
5.3	Initiales Zielsystem bewerten	172
5.3.1	Methode zur systematischen Identifikation von mit Marktunsicherheiten behafteten Zielsystemelementen.....	173
5.3.2	Zwischenfazit	181
5.4	Initiales Zielsystem validieren	182
5.4.1	Methode zur Anwendung von Minimum Viable Products in der Mechatroniksystementwicklung.....	182
5.4.2	Zwischenfazit	189
5.5	Fazit	190
6	Evaluation der Methoden zum Umgang mit Marktunsicherheiten bei der initialen Zielsystementwicklung.....	193
6.1	Fallstudie A: Entwicklung von Lösungen für Innenräume von Fahrzeugen.....	194
6.1.1	Studiendesign	196
6.1.2	Ergebnisse	198
6.1.3	Zwischenfazit	207
6.2	Fallstudie B: Entwicklung eines Prüfgeräts zur Überprüfung von Brandmeldern im Feld.....	208

6.2.1	Studiendesign.....	209
6.2.2	Ergebnisse.....	211
6.2.3	Zwischenfazit.....	230
6.3	Fazit	232
7	Zusammenfassung und Ausblick.....	233
7.1	Zusammenfassung	233
7.2	Diskussion und Übertragbarkeit der Ergebnisse	242
7.2.1	Diskussion der Ergebnisse	242
7.2.2	Übertragbarkeit der Ergebnisse	244
7.3	Ausblick	248
	Literaturverzeichnis.....	I
	Glossar	XLIII
	Anhang A.....	XLVII
	Aktivitäten der Produktentstehungen	XLVII
	Grundprinzipien des Agile Systems Design Ansatzes	XLVIII
	Übersicht Quellen der systematischen Literaturanalyse.....	L
	Steckbriefe empirischer Methoden.....	LI
	Herausforderungen des sequenziellen Zielsystemmanagements	LIV
	Herausforderungen des agilen Zielsystemmanagements	LVIII
	Abgleich der Herausforderungen des sequenziellen und des agilen Zielsystemmanagements	LXI
	Herausforderungen des anlagentechnischen Brandschutzes	LXIII

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1.1:	Gleitender Mittelwert der Marktanteile von Apple, Blackberry und Samsung zeigt, dass Blackberry, das weiterhin auf eine physische Tastatur und ein geschlossenes Betriebssystem setzt, ab 2009 Marktanteile verliert (Business Insider, 2017; Business Wire, 2021) (eigene Darstellung).	2
Abbildung 1.2:	Aufbau der Arbeit	3
Abbildung 2.1:	Innovationsverständnis nach ALBERS, demnach bilden das Produktprofil, die Invention und die Markteinführung die notwendigen Bestandteile einer Innovation (Albers, Heimicke, Walter et al., 2018); Darstellung nach ALBERS, HEIMICKE, HIRSCHTER et al. (2018)	6
Abbildung 2.2:	Schematische Darstellung des Lebenszyklusmodells nach WESNER (1977) unter Betrachtung von Produktgenerationen, Technologien und Branchen; Darstellung nach ALBERS, RAPP et al. (2017, S. 17).....	8
Abbildung 2.3:	Produktprofilschema zur Visualisierung von Produktprofilen in Anlehnung an ALBERS, HEIMICKE, WALTER et al. (2018, S. 5); Erläuterung der einzelnen Felder nach ALBERS, HEIMICKE, WALTER et al. (2018, S. 5–6)	10
Abbildung 2.4:	Darstellung der verschiedenen Ebenen des Eigenschaftsprofils (Hirschter et al., 2018); Darstellung nach HEITGER (2019, S. 126)	12
Abbildung 2.5:	Darstellung des Produktebenenmodells zur Strukturierung der Spezifikation mit beispielhafter Anwendung für einen Anwendungsfall der Automobilbranche nach ALBERS, HEITGER et al. (2018, S. 10).....	13
Abbildung 2.6:	Darstellung der drei Generationen des Stage-Gate-Ansatzes nach COOPER (Cooper, 1994); Darstellung nach MEBOLDT (2009, S. 34)	15
Abbildung 2.7:	Darstellung des Makrozykluses V-Modell zur Beschreibung der Entwicklung mechatronischer Produkte (VDI 2206, S. 29)	16
Abbildung 2.8:	Stereotypen progressiver Iterationen (Wynn & Eckert, 2017, S. 167)	18

Abbildung 2.9:	Stereotypen korrekativer Iterationen (Wynn & Eckert, 2017, S. 169).....	18
Abbildung 2.10:	Stereotypen koordinativer Iterationen (Wynn & Eckert, 2017, S. 170).....	19
Abbildung 2.11:	Darstellung des Scrum-Frameworks mit Abläufen, Artefakten und Verantwortlichkeiten; Darstellung nach HANSER (2010, S. 69).....	20
Abbildung 2.12:	Regelkreis der Produktentwicklung nach ROPOHL (1975, S. 33).....	21
Abbildung 2.13:	ZHO-Modell der Systemtechnik nach ALBERS und MEBOLDT (2007)	22
Abbildung 2.14:	Doppelte Kontingenz der Produktentstehung: Darstellung des Informationsgehalts und des Umfangs des Zielsystems sowie der Varietät und der Unbestimmtheit des Objektsystems über den Produktentstehungsprozess nach ALBERS und MEBOLDT (2006); Darstellung nach MEBOLDT (2009, S. 157)	24
Abbildung 2.15:	Erweitertes ZHO-Modell nach ALBERS, EBEL und LOHMEYER (2012, S. 8) zur Abbildung der menschenzentrierten Produktentwicklung.....	25
Abbildung 2.16:	Integriertes Produktentstehungsmodell (iPeM) mit statischem und dynamischem Teil nach ALBERS, REIß, BURSAC und RICHTER (2016, S. 104); Vergrößerung des Phasenmodells zur Darstellung des Referenz-, Implementierungs- und Anwendungsmodells nach ALBERS, BRAUN et al. (2010).....	27
Abbildung 2.17:	Modell der Produktentwicklung (VDI 2221, S. 31).....	30
Abbildung 2.18:	Magisches Dreieck – Zeit, Kosten und Funktionalität – zur Visualisierung der Unterscheidung sequenzieller und agiler Produktentwicklung. Durch Veränderung der flexiblen Steuerungsgrößen werden verschiedene Zustände möglich, die durch die Dreiecke angedeutet werden; Darstellung nach EBERT (2019, S. 281)	31
Abbildung 2.19:	Beschreibungsmodell zur Ermittlung eines situations- und bedarfsgerechten Maßes an Flexibilität des ASD-Ansatzes (Albers, Heimicke, Spadinger, Reiß, Breitschuh, Richter, Bursac & Marthaler, 2019b, S. 10).....	33
Abbildung 2.20:	Darstellung eines Auszugs des Referenzsystems der ersten Produktgeneration G_1 des Tesla Roadsters. Dabei bezeichnet R_1 das Referenzsystem der G_1 des Tesla Roadsters; das	

	Referenzsystem inkludiert beispielsweise den Akku eines Laptops der Generation G_2 (Albers, Rapp et al., 2019, S. 1700)	36
Abbildung 2.21:	Darstellung der Charakteristika von Zielsystemen (Albers et al., 2012); Darstellung nach LOHMEYER (2013, S. 65)	40
Abbildung 2.22:	Darstellung der zu berücksichtigenden Aspekte eines Zielsystems eines Entwicklungsprojekts (Bader, 2007, S. 20)	41
Abbildung 2.23:	Darstellung der Durchgängigkeit und Kompatibilität von Zielsystemen (Eiletz, 1999, S. 61)	42
Abbildung 2.24:	Strukturen von Zielsystemen; links: ausschließliche Betrachtung hierarchischer Beziehungen: Baumstruktur; rechts: ausschließliche Betrachtung nicht hierarchischer Beziehungen: Netzstruktur; Darstellung nach GEBAUER (2001, S. 48)	43
Abbildung 2.25:	Story-Card als Darstellung einer User-Story im Connextra-Format; eigene Darstellung nach (SolutionsIQ, 2015)	46
Abbildung 2.26:	Abgrenzung und Zusammenspiel der Zielsystemelemente Ziel, Anforderung und Randbedingung (Ebel, 2015, S. 67)	48
Abbildung 2.27:	Darstellung der Zusammenhänge des Requirements Engineerings nach POHL (2007, S. 39)	50
Abbildung 2.28:	Darstellung der Grundaktivitäten des Requirements Engineerings nach RUPP (2009, S. 14)	52
Abbildung 2.29:	Darstellung der Zusammenhänge des Requirements Engineerings nach HOOD (2008, S. 50)	52
Abbildung 2.30:	Darstellung der Zusammenhänge des Requirements Engineerings nach EBERT (2014, S. 40)	53
Abbildung 2.31:	Validierung als zentrale Aktivität der Zielsystementwicklung; Darstellung dieses Zusammenhangs durch das ZHO-Systemtripler (Oerding, 2009, S. 107)	55
Abbildung 2.32:	Entwicklung des Zielsystems durch die drei Operationen Erweitern, Konkretisieren und Verändern (Meboldt, 2009, S. 189)	56
Abbildung 2.33:	Zielsystementwicklung über Produktgenerationen nach MEBOLDT (2009, S. 192). Verwendung der Nomenklatur entsprechend Kapitel 2.2.1; links: Zielsystem der Produktgeneration G_n beim „freeze“; mitte: weiterentwickeltes Zielsystem von G_n nach „freeze“; rechts: Initiales Zielsystem der Produktgeneration G_{n+1}	57

Abbildung 2.34:	Links: Kritikalitätsmatrix; rechts: Entscheidungsmatrix (Albers, Lohmeyer et al., 2011, S. 261) Darstellung nach (Ebel, 2015, S. 108–109)	60
Abbildung 2.35:	Links: Definitionsmatrix; rechts: Entwicklungsmatrix (Albers, Lohmeyer et al., 2011, S. 262) Darstellung nach (Ebel, 2015, S. 110-112)	61
Abbildung 2.36:	Links: Partizipationsmatrix; rechts: Konkretisierungsmatrix (Albers, Lohmeyer et al., 2011, S. 262) Darstellung nach (Ebel, 2015, S. 113–114)	62
Abbildung 2.37:	Links: konventionelles eindimensionales Qualitätsverständnis; rechts: Zweidimensionales Qualitätsverständnis (Kano et al., 1996, S. 170)	64
Abbildung 2.38:	Darstellung Unsicherheitsdilemma (Albers, Lohmeyer et al., 2011; Lohmeyer, 2013)	68
Abbildung 2.39:	Darstellung des Unsicherheitsgrads nach MCMANUS und HASTINGS (2006); Darstellung nach MUSCHIK (2011, S. 29) ...	69
Abbildung 2.40:	Beschreibungsmodell der Unsicherheit nach KREYE (2011, S. 98).....	69
Abbildung 2.41:	Sweet-Spot Innovation als Schnittmenge verschiedener Eigenschaften zur Unterscheidung, wohingegen sich Unsicherheiten in der Produktentwicklung belaufen können (Bland & Osterwalder, 2020, S. 32) (eigene Darstellung)	71
Abbildung 2.42:	Darstellung der Wechselwirkungen zwischen verschiedenen Ausprägungen von Marktunsicherheit (links) und potentiellen Ursachen (rechts in orange dargestellt); übersetzt nach ZIMMERMANN, KEMPF und LUTZ et al. (2021) (eine Übersicht der Quellen findet sich im Anhang der Arbeit vgl. Tabelle A.3)	73
Abbildung 2.43:	Unbewusste Unsicherheiten als Teilmenge der unbekanntens Unsicherheiten nach SKEELS et al. (2010, S. 7) (eigene Darstellung)	75
Abbildung 2.44:	Beeinflussung der Wissensbasis eines Produktentwickelnden durch Austausch auf expliziter Plattform Interaktionsebene (Lohmeyer, 2013, S. 136)	76
Abbildung 2.45:	Darstellung potentieller Einflussnahme zur Überführung der unbewussten Unsicherheiten von unbekanntens zu bekannten Unsicherheiten (eigene Darstellung).....	77
Abbildung 2.46:	Design und Validierung dargestellt im System der Produktentstehung (Albers, Behrendt et al., 2016, S. 545)	83

Abbildung 2.47:	Darstellung der Kostenverursachung und der Möglichkeit der Kostenbeeinflussung entsprechend dem Zeitpunkt im Produktentwicklungsprozess (Ehrlenspiel & Meerkamm, 2013) in Anlehnung an (Reinhart et al., 1996)	84
Abbildung 2.48:	Oben: schematische Gegenüberstellung der Phasenmodelle des Push- und Pull-Prinzips der Validierung (Albers, Behrendt et al., 2016, S. 557) (eigene Darstellung); unten: Schematische Darstellung der überproportionalen Wissenserweiterung durch produktgenerationenübergreifende Anwendung des Pull-Prinzips der Validierung (Albers, Behrendt et al., 2016, S. 558)	86
Abbildung 2.49:	Kritikalitätsmatrix nach KLINGLER (2016) zur Priorisierung von Validierungsaktivitäten; Darstellung nach ALBERS, BEHRENDT et al. (2016, S. 552).....	87
Abbildung 2.50:	Ertrags-Risiko-Modell nach ROBINSON (2001). Produkte mit wenigen Funktionen weisen ein niedriges Risiko/Aufwand-Verhältnis auf.	90
Abbildung 2.51:	SPALTEN-Prozess der Validierung zur Auswahl von Validierungsmethoden (Albers, Behrendt et al., 2016, S. 550)	94
Abbildung 3.1:	Darstellung potentieller Komponenten eines Brandmeldesystems; links: verschiedene Brandmelder auf Ringschaltung an Brandmeldezentrale, rechts: Komponenten eines Löschsystems. Nicht dargestellt: Digitale Schnittelle zur Fernüberwachung, Alarmierung und Feuerwehraufschaltung sowie -peripherie. In der Praxis ist ein System nahezu beliebig erweiterbar. So können 16 Brandmelderlinge mit ca. 4.000 Teilnehmern an einer Zentrale betrieben werden. Zentralen können wiederum miteinander verbunden werden, um die Kapazität zu erhöhen bzw. mehrere Gebäude gleichzeitig zu überwachen (Hekatron Vertriebs GmbH).	104
Abbildung 3.2:	Verortung der Arbeit in der Design Research Methodology, dargestellt in Bezug zu der Struktur der Arbeit und den verwendeten empirischen Methoden.....	105
Abbildung 4.1:	Ausschnitt der Modellierung, die im Rahmen des Workshops durchgeführt wurde, die zugehörige Digitalisierung der Ergebnisse und deren Darstellung als Anwendungsmodell im dynamischen Teil des iPeMs.....	111
Abbildung 4.2:	Retrospektiv modelliertes Anwendungsmodell für das Entwicklungsprojekt TOPAS-BMS; Größenverhältnisse der	

	Darstellung des iPeMs wurden zur Verbesserung der Lesbarkeit angepasst (Zimmermann, Heimicke et al., 2021)	112
Abbildung 4.3:	Retrospektiv modelliertes Anwendungsmodell für Entwicklungsprojekt FUNK-FSA; Größenverhältnisse der Darstellung des iPeMs wurden zur Verbesserung der Lesbarkeit angepasst (Zimmermann, Heimicke et al., 2021)	113
Abbildung 4.4:	Überlagerung, der im dynamischen Teil des iPeMs modellierten Anwendungsmodelle für TOPAS-BMS (weiß) und FUNK-FSA (grün) zeigt, dass in beiden Entwicklungsprojekten auf dasselbe Referenzmodell zurückgegriffen wurde, sodass große Ähnlichkeiten bei den Anwendungsmodellen deutlich werden (Zimmermann, Heimicke et al., 2021). Größenverhältnisse der Darstellung des iPeMs wurden zur Verbesserung der Lesbarkeit angepasst.....	114
Abbildung 4.5:	Struktur des Kapitels 4.2 und Übersicht der Teilstudien.....	117
Abbildung 4.6:	Visualisierung der Ergebnisse der Erhebung zeigt, dass die Validierung eher spät durchgeführt wird, die Verifizierung im Vordergrund steht und ein Bedarf für Methoden zur frühen Validierung besteht. Frage 1 und 2 waren Bestandteil der ersten Erhebung; Frage 3 Bestandteil der zweiten vertiefenden Erhebung.	120
Abbildung 4.7:	Visualisierung der Ergebnisse der Erhebung zeigt, dass der Stellenwert der Validierung nach Ansicht der Entwickelnden entsprechend den vorliegenden Rahmenbedingungen nicht ausreichend ist; These 1 und 3 waren Bestandteil der ersten Erhebung, die Thesen 2 und 4-6 Bestandteil der zweiten Erhebung.....	122
Abbildung 4.8:	Bewertung der 1. These durch die Geschäftsbereichsleiter..	128
Abbildung 4.9:	Bewertung der 2. These durch die Geschäftsbereichsleiter..	129
Abbildung 4.10:	Bewertung der 3. These durch die Geschäftsbereichsleiter..	130
Abbildung 4.11:	Bewertung der 4. These durch die Geschäftsbereichsleiter..	131
Abbildung 4.12:	Bewertung der 5. These durch die Geschäftsbereichsleiter..	132
Abbildung 4.13:	Bewertung der 6. These durch die Geschäftsbereichsleiter (links: absolut, n=3) und sämtliche Produktentwickelnde (rechts: prozentual, n= 57).....	134
Abbildung 4.14:	Bewertung der 7. These durch die Geschäftsbereichsleiter (links: absolut, n=3) und sämtliche Produktentwickelnde (rechts: prozentual, n= 57).....	134

Abbildung 4.15:	Bewertung der 8. These durch die Geschäftsbereichsleiter (links: absolut, n=3) und sämtliche Produktentwickelnde (rechts: prozentual, n= 57)	135
Abbildung 4.16:	Schematische Darstellung des Methodenprofils als Teil des Zielsystems der methodischen Unterstützung, wobei die initiale Methodenbeschreibung spezifische Herausforderungen und gewichtete ASD-Grundprinzipien umfasst	138
Abbildung 4.17:	Genius-Funksystem zur Alarmweiterleitung bestehend aus funkvernetzten Rauchwarnmeldern, Genius Port und Smartphone (Albers & Rapp, 2022).....	141
Abbildung 4.18:	Herausforderungen des agilen und sequenziellen Zielsystemmanagements und ermittelte Rangfolge der zugeordneten ASD-Grundprinzipien (Albers, Heimicke, Spadinger, Reiß, Breitschuh, Richter, Bursac & Marthaler, 2019b) hinsichtlich der Relevanz; dem relevantesten ASD-Grundprinzip wird der Wert 1 zugeordnet, alle weiteren Werte werden relativ zu diesem dargestellt (Zimmermann, Heimicke et al., 2021, S. 254).....	148
Abbildung 4.19:	Darstellung der retrospektiven Formulierung des zentralen Projektziels durch 4 Probanden lässt deutlich werden, dass diese unterschiedlich sind; lediglich bei einem der Probanden umfasst das Projektziel jedoch die Anwendung bzw. den damit einhergehenden Kunden- und Anwendernutzen (Zimmermann et al., 2019)	150
Abbildung 4.20:	Herausforderungen des anlagentechnischen Brandschutzes und ermittelte Rangfolge der ASD-Grundprinzipien (Albers, Heimicke, Spadinger, Reiß, Breitschuh, Richter, Bursac & Marthaler, 2019b); dem relevantesten ASD-Grundprinzip wird der Wert 1 zugeordnet, alle weiteren Werte werden relativ zu diesem dargestellt	152
Abbildung 4.21:	Abgeleitetes Methodenprofil als Teil des Zielsystems der nachfolgend zu entwickelnden Methoden zur initialen Zielsystementwicklung	154
Abbildung 5.1:	Darstellung der vier konsekutiven Methoden zur Entwicklung des initialen Zielsystems und Struktur des Kapitels 5	158
Abbildung 5.2:	Prozess zur Auswahl von Referenzsystemelementen (Albers, Zimmermann et al., 2021, S. 2616)	160
Abbildung 5.3:	Unterteilung der Kurven des Kano-Modells in Sektoren und Benennung dieser, um Produkteigenschaften einer Bewertung	

	durch Kunden und Anwender zugänglich zu machen (Albers, Zimmermann et al., 2021, S. 2616).....	161
Abbildung 5.4:	Links: Aufteilung der Kurvensektoren aus Abbildung 5.3 entsprechend den beiden Dimensionen Erwartungshaltung und Zufriedenheit; rechts: Möglichkeit der grafischen Darstellung der zugehörigen Funktionswerte einer Produkteigenschaft hinsichtlich dieser beiden Dimensionen	163
Abbildung 5.5:	Referenzsystem mit zugehörigen Elementen für eine Produkteigenschaft; Pfeile deuten Zuordnung durch Kunden- und Anwenderbefragung an (Albers, Zimmermann et al., 2021, S. 2617)	165
Abbildung 5.6:	Portfolio zur Visualisierung der Zielsystemkonkretisierung im Rahmen eines Workshops unterstützt bei der Identifikation potentieller Definitionslücken - fehlende ZSE-Zielsystemelemente, beispielsweise für Use-Case 4 (Zimmermann, Kempf, Hartmann et al., 2021, S. 29).....	169
Abbildung 5.7:	Visualisierung der Satzschablone in Form einer Story-Card, wobei die grün geschriebenen Worte zu ersetzen sind (Zimmermann, Kempf, Hartmann et al., 2021, S. 29).....	171
Abbildung 5.8:	Einflussfaktoren der Dimension Reifegrad; links: zielsystemelementspezifische -, rechts: zielsystemelementunspezifische Einflussfaktoren	175
Abbildung 5.9:	Einflussfaktoren der Dimension Auswirkung	177
Abbildung 5.10:	Potentieller normierter Wertebereich entsprechend verwendetem Rechenmodell; jeweils 1.000 zufallsverteilte Wertepunkte für 2 Dimensionen (A & B) mit jeweils fünf Einflussfaktoren	178
Abbildung 5.11:	Schematische Darstellung der Diagramme zur Visualisierung und Auswertung der Bewertung für drei Zielsystemelemente; links liegt eine geringere kontextbezogene Unsicherheit vor als rechts (Zimmermann, Prinz et al., 2020, S. 215).....	179
Abbildung 5.12:	Screenshots der drei verschiedenen Ansichten im Tool, die jeweils einen Arbeitsschritt unterstützen	180
Abbildung 5.13:	(1) Produktinformationsblatt; (2) Comic zur Validierung des Kundennutzens; (3) Video zur Validierung des Kundennutzens; (4 & 5) Kombination verschiedener 3-D-Rapid-Prototyping-MVPs; (4) 3-D-Miniatur, um zugehörige Abläufe darzustellen; (5) Karton mit Gewichten, um Usability zu validieren; (6)	

	Wireframe eines physischen Teilprodukts zur Validierung einer Teilproduktfunktion; (7) zwei Entwicklungsgenerationen digitaler Wireframes (Hayek, 2020; Schnurr, 2020)	184
Abbildung 5.14:	Auswahlportfolio Minimum Viable Products für physische Produkte (Zimmermann, Heimicke et al., 2021)	186
Abbildung 5.15:	Steckbrief MVP Produktinformationsblatt (verkürzte Darstellung) (Zimmermann, Heimicke et al., 2021).....	188
Abbildung 5.16:	Übersicht der vier vorgestellten Methoden der Zielsystementwicklung zum Umgang mit Marktunsicherheiten	190
Abbildung 6.1:	Übersicht und Charakterisierung der beiden Evaluationsfallstudien.....	193
Abbildung 6.2:	Referenzprozess des Live-Labs Integrierte Produktentwicklung mit Meilensteinen und Zeitpunkten der empirischen Studien.	195
Abbildung 6.3:	Übersicht Conceptboards verschiedener Entwicklungsteams; horizontal abgebildet: Use-Cases; vertikal abgebildet: Personas	198
Abbildung 6.4:	Ergebnisse Anwendungsevaluation im Rahmen der Fallstudie A	199
Abbildung 6.5:	Veränderung der Vollständigkeit des initialen Zielsystems; links: quantitative Bewertung des Grads; rechts: qualitative Bewertung der Veränderung	200
Abbildung 6.6:	Veränderung der Sicherheit, dass das Produkt Kunden- und Anwenderbedürfnisse erfüllt; links: quantitative Bewertung der vorliegenden Sicherheit; rechts: qualitative Bewertung der Veränderung dieser Sicherheit	201
Abbildung 6.7:	Darstellung der Auswertung der Bewertung des initialen Zielsystems der Teams der Testgruppe (links: Team 2; Mitte: Team 5; rechts: Team 7). Graue Punkte repräsentieren bewertete Zielsystemelemente, wobei die Farbe wiederum den Härtegrad widerspiegelt.	202
Abbildung 6.8:	Ergebnisse Anwendungsevaluation im Rahmen der Fallstudie A	203
Abbildung 6.9:	Links: quantitative Bewertung des eigenen Bewusstseins für die vorliegenden Marktunsicherheiten vor und nach der Methodendurchführung; rechts: qualitative Bewertung der Veränderung des eigenen Bewusstseins	204

Abbildung 6.10:	Links: quantitative Bewertung des Bewusstseins der Teamkolleginnen und -kollegen für die vorliegenden Marktunsicherheiten; rechts: qualitative Bewertung der Veränderung des Bewusstseins der Teamkolleginnen und -kollegen	205
Abbildung 6.11:	Links: quantitative Bewertung des Handlungsbedarfs zu validieren; rechts: qualitative Bewertung der Veränderung des Handlungsbedarfs	206
Abbildung 6.12:	Von links: Produktgeneration G_{n-1} des zu entwickelnden Prüfgeräts; Positionierung und Auslösung am Melder; Rändelschraube, um zwischen Wärme- und Rauchprüfung einzustellen.....	209
Abbildung 6.13:	Visualisierung der Ergebnisse der IST-Analyse für vier verschiedene Produkteigenschaften (PE) ermöglicht die Identifikation nicht erfüllter Basiseigenschaften (PE 1) und Leistungs- oder Begeisterungseigenschaften (PE 3 & 4)	212
Abbildung 6.14:	Referenzsystem mit zugehörigen Elementen für eine Produkteigenschaft, wobei die Pfeile die Bewertung durch Kunden- und Anwenderbefragung andeuten und somit eine Auswahl unter Berücksichtigung der zu erzielenden Zufriedenheit ermöglichen	213
Abbildung 6.15:	Links: quantitative Bewertung der subjektiv wahrgenommenen Sicherheit der Auswahl der zu differenzierenden Produkteigenschaften (blaue Kurve entspricht dem Mittelwert und grüne Kurven den Einzelantworten); rechts: qualitative Bewertung der Veränderung subjektiv wahrgenommener Sicherheit (Albers, Zimmermann et al., 2021, S. 2617).....	214
Abbildung 6.16:	Links: quantitative Bewertung der subjektiv wahrgenommenen Sicherheit der Auswahl der Referenzsystemelemente (blaue Kurve entspricht dem Mittelwert und grüne Kurven den Einzelantworten); rechts: qualitative Bewertung der Veränderung subjektiv wahrgenommener Sicherheit (Albers, Zimmermann et al., 2021, S. 2617).....	215
Abbildung 6.17:	Links: quantitative Bewertung der vorliegenden Marktunsicherheit (blaue Kurve entspricht dem Mittelwert und grüne Kurven den Einzelantworten); rechts: qualitative Bewertung der Veränderung vorliegender Marktunsicherheit (Albers, Zimmermann et al., 2021, S. 2617)	216

Abbildung 6.18:	Zusammenhang Referenzsystem und Workshopergebnis. Auf Basis der ausgewählten Referenzsystemelemente wurden Use-Cases und Personas abgeleitet, mit deren Hilfe im Workshop 40 neue Zielsystemelemente abgeleitet wurden. Die Use-Cases konnten dabei direkt aus dem Zielsystem der Produktgeneration G_{n-1} übernommen werden; zur Erstellung der Personas wurden die Zielsysteme der externen Referenzsystemelemente (RSE) rekonstruiert, die der internen RSE übernommen und entsprechend der zu entwickelnden Produktgeneration G_n angepasst.....	217
Abbildung 6.19:	Ergebnisse der Anwendungsevaluation, die nach der Methodendurchführung mit den Workshopteilnehmenden durchgeführt wurde (n= 4)	218
Abbildung 6.20:	Links: quantitative Bewertung der Vollständigkeit des initialen Zielsystems (blaue Kurve entspricht dem Mittelwert und grüne Kurven den Einzelantworten); rechts: qualitative Bewertung der Veränderung der Vollständigkeit (Zimmermann, Kempf, Hartmann et al., 2021, S. 30)	219
Abbildung 6.21:	Links: quantitative Bewertung der vorliegenden Marktunsicherheit (blaue Kurve entspricht dem Mittelwert und grüne Kurven den Einzelantworten); rechts: qualitative Bewertung der Veränderung der Marktunsicherheit (Zimmermann, Kempf, Hartmann et al., 2021, S. 30)	220
Abbildung 6.22:	Darstellung der Auswertung der Bewertung des initialen Zielsystems; graue Punkte repräsentieren bewertete Zielsystemelemente, wobei die Farbe wiederum den Härtegrad widerspiegelt (Zimmermann, Prinz et al., 2020, S. 215)	221
Abbildung 6.23:	Vergleichende Darstellung der mit Methode identifizierten kritischen Zielsystemelemente mit der Einschätzung eines Fachexperten und der Einschätzung der Methodenanwender jeweils vor der Methodenanwendung	222
Abbildung 6.24:	Links: quantitative Bewertung des vorliegenden Handlungsbedarfs zu validieren (blaue Kurve entspricht dem Mittelwert und grüne Kurven den Einzelantworten); rechts: qualitative Bewertung der Veränderung dieses Handlungsbedarfs	223
Abbildung 6.25:	Links: quantitative Bewertung der vorliegenden Marktunsicherheit (blaue Kurve entspricht dem Mittelwert und	

	grüne Kurven den Einzelantworten); rechts: qualitative Bewertung der Veränderung der Marktunsicherheit.....	224
Abbildung 6.26:	Schematische Darstellung beider Produktgenerationen des Prüfgeräts (links G_{n-1} ; rechts G_n). (a) Prüfeinheit (vgl. Abbildung 6.12 links) dargestellt mit Prüfstange für hohe Höhen; (b) Digitale Mensch-Maschine-Schnittstelle (Zimmermann, Heimicke et al., 2021)	225
Abbildung 6.27:	Schematische Darstellung der Anwendung inklusive Funktionsablauf (visualisiert durch bezifferte Pfeile) der Produktgeneration G_n ; links: tatsächliche Anwendung; rechts: Umsetzung in MVP (Zimmermann, Heimicke et al., 2021)....	226
Abbildung 6.28:	MVP in der Anwendung mit Kunden und Anwendern (Zimmermann, Heimicke et al., 2021)	227
Abbildung 6.29:	Wahrgenommene Marktunsicherheit hinsichtlich der drei validierten Zielsystemelemente (Zimmermann, Heimicke et al., 2021)	228
Abbildung 6.30:	Links: quantitative Bewertung der vorliegenden Marktunsicherheit (blaue Kurve entspricht dem Mittelwert und grüne Kurven den Einzelantworten); rechts: qualitative Bewertung der Veränderung der Marktunsicherheit (Zimmermann, Heimicke et al., 2021)	229
Abbildung 6.31:	Entwicklung der vorliegenden Marktunsicherheit bei der konsekutiven Anwendung der vier Methoden; oben: Abbildung der Entwicklung des Mittelwerts im Rahmen der quantitativen Bewertung zeigt, dass Marktunsicherheit kontinuierlich reduziert wird; unten: Darstellung der qualitativen Bewertung je Methode	231
Abbildung 7.1:	Retrospektive Prozessmodellierung für 2 Entwicklungsprojekte, dargestellt als Anwendungsmodell im iPeM zeigt, dass Validierung in den Entwicklungsprojekten eher spät durchgeführt wird (Zimmermann, Heimicke et al., 2021).....	234
Abbildung 7.2:	Abgeleitetes Methodenprofil als Teil des Zielsystems der nachfolgend zu entwickelnden Methoden zur initialen Zielsystementwicklung	236
Abbildung 7.3:	Übersicht der vier vorgestellten Methoden der Zielsystementwicklung zum Umgang mit Marktunsicherheiten	237

Abbildung 7.4:	Übersicht und Charakterisierung der beiden Evaluationsfallstudien.....	239
Abbildung 7.5:	Veränderung des selbst wahrgenommenen Bewusstseins der Produktentwickelnden für die vorliegenden Marktunsicherheiten in der Fallstudie A; links: quantitative Bewertung des eigenen Bewusstseins; rechts: qualitative Bewertung der Veränderung des eigenen Bewusstseins.....	240
Abbildung 7.6:	Vorliegende Marktunsicherheit nimmt im Rahmen der Fallstudie B bei der konsekutiven Anwendung der vier entwickelten Methoden kontinuierlich ab	241
Abbildung 7.7:	Kontextebenenmodell nach HALES und GOOCH (2004); zitiert in Anlehnung an (VDI 2221, S. 11)	244
Abbildung A.1:	Steckbrief der empirischen Methode Fragebogen (Marxen, 2014) Darstellung in Anlehnung an (Bursac, 2016)	LI
Abbildung A.2:	Steckbrief der empirischen Methode Interview (Marxen, 2014) Darstellung in Anlehnung an (Bursac, 2016)	LII
Abbildung A.3:	Steckbrief der empirischen Methode Retrospektives Protokoll (Marxen, 2014) Darstellung in Anlehnung an (Bursac, 2016) ..	LII
Abbildung A.4:	Steckbrief der empirischen Methode Teilnehmende Beobachtung (Marxen, 2014) Darstellung in Anlehnung an (Bursac, 2016).....	LIII
Abbildung A.5:	Steckbrief der empirischen Methode Fallstudie Beobachtung (Marxen, 2014) Darstellung in Anlehnung an (Bursac, 2016) ..	LIII
Abbildung A.6:	Steckbrief der empirischen Methode Live-Lab verbessern (Reiß, 2018, S.104).....	LIV

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2.1:	Übersicht Auswertungslogik der funktionalen und dysfunktionalen Fragen der Kano-Methode in Anlehnung an BAILOM et al. (1996, S. 121)	65
Tabelle 2.2:	Charakterisierung von Marktunsicherheit nach ZIMMERMANN, KEMPF und LUTZ et al. (2021); eine Auflistung der nummerierten Quellen findet sich im Anhang der Arbeit (vgl. Tabelle A.3).....	72
Tabelle 2.3:	Ansätze zum Umgang mit Marktunsicherheit nach ZIMMERMANN, KEMPF, LUTZ et al. (2021); eine Auflistung der nummerierten Quellen findet sich im Anhang der Arbeit in (vgl. Tabelle A.3)	78
Tabelle 2.4:	Diverse in der Literatur beschriebene MVPs; Verständnis entsprechend (Bland & Osterwalder, 2020; Ries, 2019)	92
Tabelle 4.1:	Übersicht der Elemente zur Modellierung von Produktentwicklungsprozessen (Albers, Reiß, Bursac, Schwarz & Lüdcke, 2015, S. 6; Bursac, 2016, S. 94).....	109
Tabelle 4.2:	Übersicht der im Rahmen der Studie befragten Probanden	118
Tabelle 4.3:	Übersicht der im Rahmen der Studie befragten Probanden	119
Tabelle 4.4:	Übersicht der Interviewten: sequenzielle Vorgehensweise (A-G); agile Vorgehensweise (H-M)	140
Tabelle 4.5:	Übersicht der im Rahmen der Studie befragten Probanden	142
Tabelle 5.1:	Textuelle Beschreibung der Kurvensektoren, die die Antwortmöglichkeiten bei der Bewertung der ausgewählten kundenerlebbaren Produkteigenschaften durch Kunden und Anwender darstellen	162
Tabelle 7.1:	Faktorbasierte Bewertung der Übertragbarkeit der Ergebnisse hinsichtlich weiterer Anwendungsfälle	245
Tabelle A.1:	Übersicht und Beschreibung der Aktivitäten der Produktentstehung	XLVII
Tabelle A.2:	Grundprinzipien des ASD-Ansatzes (Albers, Heimicke, Spadinger, Reiß, Breitschuh, Richter, Bursac & Marthaler, 2019a, S. 8–10)	XLVIII
Tabelle A.3:	Übersicht der in der systematischen Literaturanalyse verwendeten Quellen.....	L

Tabelle A.4:	Herausforderungen des sequenziellen Zielsystemmanagements	LIV
Tabelle A.5:	Herausforderungen des agilen Zielsystemmanagements	LVIII
Tabelle A.6:	Abgleich der identifizierten Herausforderungen des sequenziellen und des agile, Zielsystemmanagements	LXI
Tabelle A.7:	Herausforderungen des anlagentechnischen Brandschutzes	LXIII

Abkürzungsverzeichnis

ASD	Agile Systems Design
B2B	Business to Business
B2C	Business to Customer
DRM	Design Research Methodology
DSM	Design Structure Matrix
EWH	Erwartungshaltung
FMEA	Failure Mode and Effects Analysis
HTG	Hekatron Technik GmbH
HVG	Hekatron Vertriebs GmbH
ICE	Intercity-Express
IP	Integrierte Produktentwicklung
IPEK	Institut für Produktentwicklung
iPeM	integriertes Produktentstehungsmodell
KIT	Karlsruher Institut für Technologie
MVP	Minimum Viable Product
PDCA	Plan-Do-Check-Act
PGE	Produktgenerationsentwicklung
RSE	Referenzsystemelement
SiD	System-in-Development
SPALTEN	Situationsanalyse, Problemeingrenzung, Alternative Lösungen, Lösungsauswahl, Tragweitenanalyse, Entscheiden und Umsetzen, Nachbereiten und Lernen
SuD	System-under-Investigation
SysML	Systems Modeling Language
TOTE	Test-Operate-Test-Exit

UMEA	Uncertainty Mode and Effects Analysis
UML	Unified Modeling Language
VDI	Verein Deutscher Ingenieure
XiL	X-in-the-Loop
ZF	Zufriedenheit
ZHO	Zielsystem, Handlungssystem, Objektsystem
ZSE	Zielsystemelement

1 Einleitung

Die Produktentwicklung ist ein zentraler Faktor für das Bestehen und Wachstum von Unternehmen und damit für den Ursprung gesellschaftlicher Entwicklung (Cooper & Kleinschmidt, 1993). Nach ALBERS (2010) kann die Produktentwicklung als Überführung eines zunächst vagen Zielsystems in ein Objektsystem beschrieben werden. Diese beiden Systeme stehen jedoch nicht direkt miteinander in Kontakt, sondern das Handlungssystem erstellt sowohl Ziel- als auch Objektsystem. Im Rahmen konventioneller, sequenzieller Produktentwicklungsansätze wird zu Beginn eine vertragliche Grundlage – Lasten- und Pflichtenheft – erstellt, in der sämtliche zu erfüllenden Ziele und Anforderungen beschrieben werden (DIN 69901-2:2009-01; VDI 2206; VDI/VDE 3694). Allerdings besteht Kritik hinsichtlich eines derartigen sequenziellen Vorgehens. So konstatiert JÖRG (2005), dass ca. die Hälfte der realisierten Produktmerkmale nicht den im Lastenheft definierten Anforderungen entsprechen. Folglich beschreibt ALBERS (2010), dass im Rahmen der Produktentwicklung vielmehr Objekt- und Zielsystem kontinuierlich weiterzuentwickeln sind und die Entwicklung des Zielsystems dementsprechend erst am Ende der Produktentstehung abgeschlossen ist. Dennoch gilt, dass bereits zu einem frühen Zeitpunkt im Rahmen der Entwicklung des initialen Zielsystems Annahmen wie beispielsweise die Festlegung von kundenerlebbaren Produkteigenschaften, prognostizierten Verkaufspreisen oder Absatzzahlen aufgestellt werden müssen, die maßgebliche Auswirkungen auf das zu entwickelnde Produkt, dessen Qualität, aber auch die Herstellkosten und damit die Erfüllung des Nutzenbündels – bestehend aus Kunde-, Anwender- und Anbieternutzen – mit sich bringen. Demnach beeinflusst die Richtigkeit dieser Annahmen entscheidend den Erfolg des Produkts am Markt und den damit verbundenen wirtschaftlichen Erfolg von entwickelnden Unternehmen. Dabei gilt jedoch, dass diese Annahmen mit Unsicherheiten behaftet sind, weswegen sie auch als „Annahmen mit Vertrauensvorschuss“ (Ries, 2019, S. 74) bezeichnet werden und sich folglich im Laufe der Produktentstehung als nicht zutreffend erweisen können oder dass vollkommen unbekannte Sachverhalte auftreten können, die diese Annahmen maßgeblich beeinflussen (Weck, Eckert & Clarkson, 2007). Die nachfolgenden Beispiele zeigen ebendiesen Einfluss von Unsicherheiten auf die Produktentwicklung.

Beispiel Blackberry

Im Jahr 2009 war Blackberry mit über 20 % Marktanteil einer der bedeutendsten Akteure auf dem Markt für Smartphones. Insbesondere als Geschäftshandy waren die Blackberry-Modelle bereits vor Marktstart des ersten Smartphones von Apple im Jahr 2007 überaus beliebt, da sie sich aufgrund ihrer Qualität und ihres typischen

Tastaturlayouts hervorragend zum Versenden und Empfangen von Nachrichten und E-Mails eigneten (Heuzeroth, 2018). Allerdings bedeutete das Festhalten der Marke Blackberry an dieser physischen Tastatur sowie an dem eigenen Betriebssystem das Ende der Marke als Smartphone-Hersteller, da Kunden immer häufiger einen Touchscreen und ein offenes Betriebssystem (z. B. Android), das die Verwendung von weiteren individuellen Applikationen ermöglicht, bevorzugten (dpa, 2020; Kremp, 2020) (vgl. Abbildung 1.1).

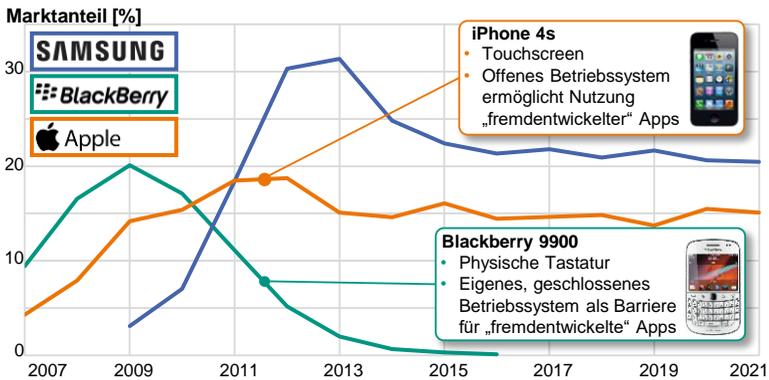


Abbildung 1.1: Gleitender Mittelwert der Marktanteile von Apple, BlackBerry und Samsung zeigt, dass BlackBerry, das weiterhin auf eine physische Tastatur und ein geschlossenes Betriebssystem setzt, ab 2009 Marktanteile verliert (Business Insider, 2017; Business Wire, 2021) (eigene Darstellung).

Beispiel Intercity-Express (kurz: ICE)

Im Sommer des Jahres 2010 traten innerhalb kürzester Zeit bei 41 ICE-Zügen der deutschen Bahn Probleme mit Klimaanlage auf, sodass die Weiterfahrt teilweise unterbrochen und Menschen wegen Dehydrierung in Krankenhäuser gebracht werden mussten (dpa, Reuters & AFP, 2010). Die Deutsche Bahn bestätigte, dass die Klimaanlage der entsprechenden Züge lediglich bis zu einer Außentemperatur von 32° C spezifiziert wurden, was der Norm 553 des internationalen Eisenbahnverbands zum Zeitpunkt der Zulassung der Züge in den 1990-Jahren entsprach (Bauchmüller & Kolb). Aufgrund der veränderten klimatischen Bedingungen mit heißen trockenen Sommern zu Beginn der 2000er-Jahre (Schadwinkel, Stahnke, Blickle & Venohr, 2018) entsprechen die Züge bzw. die Klimaanlage allerdings nicht mehr den der Anwendung entsprechenden Bedingungen.

Beispiel Pringle

Der schottische Modehersteller Pringle vertrieb im Jahr 1999 einen rosa und grauen Kaschmirpullover und schätzte das Marktpotential für diesen Pullover auf ca. 500 Stück. Nachdem David Beckham diesen Pullover jedoch bei einem Fernsehauftritt trug, wurden innerhalb kürzester Zeit 20.000 dieser Pullover verkauft, was für das Unternehmen einen enormen wirtschaftlichen Schub bedeutete (Weck et al., 2007).

Es wird ersichtlich, dass sich die vorliegenden Unsicherheiten auf unterschiedliche Bereiche auswirken, so kann beispielsweise die Absatzmenge variieren oder ein Produkt nicht der Anwendung genügen. Dabei können die Auswirkungen sowohl positiv – Chancen – als auch negativ – Risiken – sein (McManus & Hastings, 2006). Es gilt jedoch, dass im Rahmen der Produktentwicklung und insbesondere bei der Entwicklung des initialen Zielsystems Annahmen getroffen werden müssen und folglich Unsicherheiten vorliegen, die sich nicht vermeiden lassen (Wiebel et al., 2013). Deswegen bedarf es im Rahmen der Produktentwicklung eines adäquaten Umgangs mit diesen Unsicherheiten, der sich primär auf das frühzeitige Identifizieren und Reduzieren dieser Unsicherheiten beläuft. Dieser Umgang und insbesondere der Umgang mit Marktunsicherheiten bei der initialen Zielsystementwicklung werden im Rahmen der vorliegenden Forschungsarbeit untersucht.

Dazu wurde die Forschungsarbeit in 7 Kapitel unterteilt (vgl. Abbildung 1.2).

1	Einleitung – Motivation der Arbeit	
2	Grundlagen – Stand der Forschung	
3	Zielsetzung – Vorgehensweise	
4	Umgang mit Marktunsicherheiten in der Entwicklung	
5	Methoden zum Umgang mit Marktunsicherheiten	
6	Evaluation der Methoden zur Zielsystementwicklung	
7	Zusammenfassung – Übertragbarkeit – Ausblick	

Abbildung 1.2: Aufbau der Arbeit

Nachdem in **Kapitel 1** die Motivation der Arbeit dargelegt worden ist, werden in **Kapitel 2** die Grundlagen und der Stand der Forschung hinsichtlich der vorliegenden Arbeit beleuchtet. Dazu wird insbesondere die Zielsystementwicklung als Teil der Produktentwicklung im Modell der PGE – Produktgenerationsentwicklung nach ALBERS betrachtet. Im Fokus steht die Rolle der vorliegenden Unsicherheiten, wobei Implikationen hinsichtlich des Umgangs mit Unsicherheiten im Rahmen der Zielsystementwicklung abzuleiten sind. Aus den Betrachtungen des Stands der Forschung werden in **Kapitel 3** der Forschungsbedarf und die Zielsetzung der Arbeit abgeleitet, welche durch eine zentrale These und drei aufeinander aufbauende Forschungsfragen operationalisiert werden. Darüber hinaus werden in diesem Kapitel das im Rahmen der vorliegenden Arbeit gewählte Vorgehen und die Forschungsumgebung – das Unternehmen Hekatron Brandschutz – beleuchtet. **Kapitel 4** beinhaltet die Ergebnisse von drei empirischen Studien, und dient der Zielsetzung, den abgeleiteten Forschungsbedarf zu konkretisieren und darüber hinaus ein tiefergehendes Verständnis hinsichtlich des Umgangs mit Marktunsicherheiten in der Forschungsumgebung aufzubauen. Zusätzlich wird das Methodenprofil als Teil des Zielsystems der nachfolgend zu entwickelnden Methoden beschrieben, die in **Kapitel 5** dargelegt sind. Dabei handelt es sich um vier konsekutiv durchführbare Methoden zur Unterstützung von Produktentwickelnden¹ beim Umgang mit Marktunsicherheiten im Rahmen der Entwicklung des initialen Zielsystems. Der Beitrag der Methoden hinsichtlich der zuvor ermittelten messbaren Erfolgsfaktoren wird in **Kapitel 6** dargelegt. Dieser wurde durch zwei empirische Fallstudien in den Untersuchungsumgebungen Hekatron Brandschutz und dem Live-Lab Integrierte Produktentwicklung ermittelt. Abschließend erfolgt in **Kapitel 7** eine Zusammenfassung der Ergebnisse der Arbeit. Dabei werden diese hinsichtlich ihrer Übertragbarkeit auf weitere Anwendungsfälle diskutiert, bevor die Arbeit mit einem Ausblick, in dem weiterführende Forschungsarbeiten beleuchtet werden, abgerundet wird.

¹ Um die Lesbarkeit dieser Arbeit zu erleichtern, habe ich mich nach einigem Abwägen dagegen entschieden, Formate wie das inklusive *-Sternchen (vgl. Produktentwickler*innen) zu verwenden. Unter jeglichen aufgeführten geschlechterspezifischen Begrifflichkeiten (vgl. der Produktentwickelnde) werden stets sämtliche Menschen unabhängig ihres Geschlechts und Identität verstanden und selbstverständlich mitgedacht.

2 Grundlagen und Stand der Forschung

Im nachfolgenden Stand der Forschung werden in Abschnitt 2.1 zunächst Methoden, Modelle und Prozesse der Produktentwicklung dargelegt, die dem grundlegenden Verständnis der Arbeit im Kontext der KaSPro – Karlsruher Schule für Produktentwicklung dienen. Basierend auf dem hieraus entstehenden Verständnis werden in Abschnitt 2.2 das Zielsystem und dessen Entwicklung beleuchtet. Dabei steht insbesondere die Verwendung von Referenzen entsprechend dem Modell der PGE – Produktgenerationsentwicklung nach ALBERS zur systematischen Entwicklung von Zielsystemen im Fokus der Betrachtung. Abschließend werden in Abschnitt 2.3 der Aspekt der Marktunsicherheit und Ansätze zum Umgang mit ebendieser im Rahmen der Zielsystementwicklung näher betrachtet.

2.1 Grundlagen zur Entwicklung innovativer, mechatronischer Systeme

Nachfolgend werden einige zentrale Methoden, Modelle und Prozesse der Produktentwicklung, als wissenschaftliche Grundlagen, auf denen diese Arbeit aufbaut, eingeführt, um damit den Ursprung des Forschungsbedarfs zu beleuchten.

2.1.1 Innovation in der Produktentwicklung

Eine der ersten wissenschaftlichen Definitionen des Begriffs der Innovation stammt von JOSEF SCHUMPETER aus dem Jahr 1939, der eine Innovation folgendermaßen von einer Invention differenziert:

Innovation²:

„Innovation ist möglich, ohne dass wir irgendetwas als Invention identifizieren sollten, und Invention induziert nicht notwendigerweise Innovation, sondern erzeugt von sich aus überhaupt keinen wirtschaftlichen Effekt.“

Folglich differenziert SCHUMPETER zwischen einer Invention und einer Innovation, wobei eine Innovation einen wirtschaftlichen Effekt mit sich bringt. Somit wird erst

² (Schumpeter, 1939, S. 84), eigene Übersetzung

durch die erfolgreiche Umsetzung im Markt aus einer neuen Idee bzw. Invention eine Innovation (Disselkamp, 2012). Nach ENGELN (2006) besteht ein direkter Zusammenhang zwischen dem Erfolg von Unternehmen und dem Erfolg ihrer Produkte am Markt. Auch ALBERS (1994) folgert aus dem Innovationsverständnis nach SCHUMPETER den Zusammenhang zwischen diesen sowie einem nachhaltigen Unternehmenserfolg und stellt damit die Bedeutung der Innovation als solche für Unternehmen heraus (siehe auch u.a. Albers, Bursac & Rapp, 2016; Cooper, 2011; Souder, 1988). Demnach bildet die Innovation die Motivation der Produktentwicklung (Ili, Albers & Miller, 2010). Gleichzeitig stellen COOPER und KLEINSCHMIDT (1987) jedoch fest, dass ca. 33 % sämtlicher neuen Produkte am Markt scheitern und folglich keine Innovation darstellen, wobei nach ihrer Ansicht der Haupterfolgsfaktor für Innovationen die Adressierung der Kundenbedürfnisse darstellt. Entsprechend erweitert ALBERS das Innovationsverständnis nach SCHUMPETER um die Identifikation einer vorliegenden Bedürfnissituation in Form eines Produktprofils, da Produkte lediglich erfolgreich sein können, wenn sie Kunden und Anwendern, aber auch dem Anbieter einen Nutzen bieten bzw. deren Bedürfnisse erfüllen oder übererfüllen (Albers, Heimicke, Walter et al., 2018).

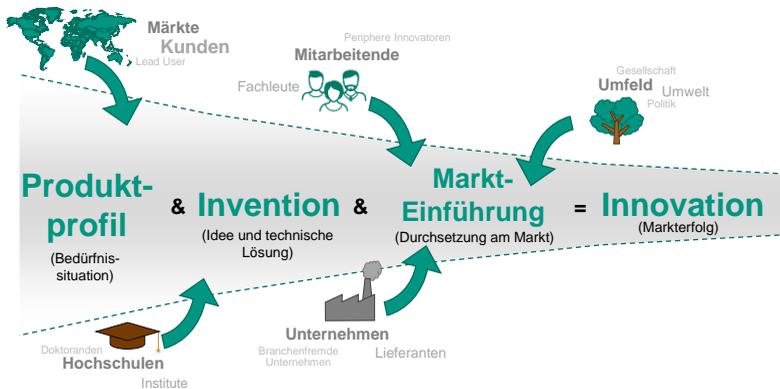


Abbildung 2.1: Innovationsverständnis nach ALBERS, demnach bilden das Produktprofil, die Invention und die Markteinführung die notwendigen Bestandteile einer Innovation (Albers, Heimicke, Walter et al., 2018); Darstellung nach ALBERS, HEIMICKE, HIRSCHTER et al. (2018)

Demnach bedarf eine Innovation neben der Idee und technischen Lösung (Invention) zusätzlich einer, im Rahmen eines Produktprofils erfassten Bedürfnissituation und einer erfolgreichen Markteinführung (vgl. Abbildung 2.1) (Albers, Heimicke, Hirschter et al., 2018). ALBERS, HEIMICKE, WALTER et al. (2018) legen überdies dar, dass das Produktprofil als Ausgangssituation einer Produktentwicklung zwar das Innovationspotential steigert, jedoch keine Innovation garantiert.

Im Rahmen der Betriebswirtschaft werden Innovationen den charakteristischen Merkmalen entsprechend differenziert. So unterscheidet beispielsweise DISSELKAMP (2005, S. 21) gemäß dem zugehörigen Innovationsbereich zwischen Prozessinnovationen, marktmäßigen Innovationen, strukturellen Innovationen und Produktinnovationen, wobei der Fokus im Rahmen der vorliegenden Arbeit ausschließlich auf Letztgenannte ausgerichtet ist. In Bezug auf Produktinnovationen wird wiederum beispielsweise hinsichtlich des Veränderungsumfangs differenziert. So unterscheiden GRANIG und PERSUSCH (2012) zwischen inkrementellen und radikalen Innovationen, wobei in der Literatur keine einheitliche Definition ebendieser Begriffe vorliegt (McDermott, 2002). Auch HENDERSON und CLARK (1990) unterscheiden gemäß dem Veränderungsgrad zwischen den folgenden Arten einer Innovation:

- **„Inkrementelle Innovationen** entstehen durch konstruktive Änderungen an Komponenten und ihren Beziehungen zueinander. Durch den begrenzten Änderungsumfang besteht oft nur ein geringes technisches und ökonomisches Risiko, jedoch ist auch das wirtschaftliche Potenzial vergleichsweise eingeschränkt.“ (Henderson & Clark, 1990) zit. nach (Albers, Bursac & Wintergerst, 2015, S. 3)
- **„Architekturelle Innovationen** beruhen auf einer Neukonfiguration von bereits bekannten [...] Funktionseinheiten. Sie stellen Unternehmen oft vor die Herausforderung, ihr Wissen neu zu strukturieren, bergen aber durch eine andersartige Funktionserfüllung auch wirtschaftliche Potenziale bei moderaten technischen Risiken.“ (Henderson & Clark, 1990) zit. nach (Albers, Bursac et al., 2015, S. 3)
- **„Modulare Innovationen** sind technisch durch einen Austausch einzelner Funktionseinheiten charakterisiert, wobei die grundsätzliche Systemstruktur erhalten bleibt. Ökonomisch bieten sie erhöhte Potenziale zur Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit, sind jedoch auch mit entsprechend erhöhten Risiken verbunden.“ (Henderson & Clark, 1990) zit. nach (Albers, Bursac et al., 2015, S. 3)
- **„Radikale Innovationen** zeichnen sich technisch nicht nur durch einen Austausch einzelner Funktionseinheiten aus, sondern auch durch eine neue Konfiguration der Systemstruktur. Entsprechend unsicherheitsbehaftet sind die Entwicklungsprozesse und die Marktpotenziale. Neues Wissen muss in großem Umfang neu generiert oder akquiriert werden.“ (Henderson & Clark, 1990) zit. nach (Albers, Bursac et al., 2015, S. 3)

ALBERS, BURSAC et al. (2015) konstatieren, dass diese Klassifizierung ausschließlich retrospektiv vorgenommen werden kann. Des Weiteren postulieren sie, dass im Kontext der Innovationsforschung oftmals der technische Neuheitsgrad mit dem Markterfolg gleichgesetzt wird und damit der Begriff radikale Innovation im Fokus steht, wobei kein direkter Zusammenhang zwischen dem technischen Neuheitsgrad und dem Markterfolg besteht. Vielmehr erreichen Produkte jedoch häufig erst durch, über mehrere Produktgenerationen andauernde, Weiterentwicklungen einen derartigen wirtschaftlichen und technischen Reifegrad, dass sie am Markt erfolgreich sind (Albers, Bursac et al., 2015; Bursac, 2016). Der Zusammenhang wird ebenfalls in dem Modell des Produktlebenszyklus nach WESNER (1977) dargestellt, im Rahmen dessen verschiedene Produktgenerationslebenszyklen innerhalb eines Technologielebenszyklus und von dem wiederum mehrere in Rahmen eines Branchenlebenszyklus verortet werden (vgl. Abbildung 2.2).

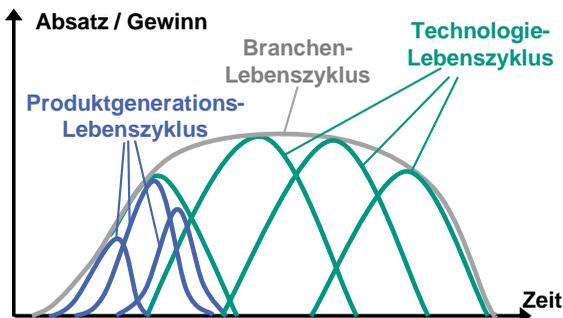


Abbildung 2.2: Schematische Darstellung des Lebenszyklusmodells nach WESNER (1977) unter Betrachtung von Produktgenerationen, Technologien und Branchen; Darstellung nach ALBERS, RAPP et al. (2017, S. 17)

Neben diesen Arten der Innovation gewinnen im wissenschaftlichen Kontext in jüngerer Vergangenheit auch frugale Innovationen an Relevanz (Gewald, Leliveld & Pesa, 2012). Es gilt anzumerken, dass zielgerichtete frugale Innovationen in der industriellen Praxis eher Ausnahmen darstellen bzw. nur wenig Relevanz haben.

- **Frugale Innovationen** werden von Unternehmen primär zur Adressierung von Kunden in Schwellenländern entwickelt. In der Regel werden hierbei ausschließlich Grundbedürfnisse befriedigt und auf Begeisterungsmerkmale verzichtet, um das Produkt zu einem möglichst geringen Preis anbieten zu können (Zeschky, Widenmayer & Gassmann, 2011).

HEIMICKE, ZIMMERMANN et al. (2019) analysieren retrospektiv jeweils ein in der Literatur beschriebenes Beispiel einer frugalen, einer radikalen und einer inkrementellen Innovation aus drei verschiedenen Sparten (Telekommunikation, Personenkraftwagen und Rauchwarnmelder) hinsichtlich der Gemeinsamkeiten und Unterschiede. Dabei ermitteln sie, dass die Entwicklung jeder der untersuchten Innovationen jeweils auf Referenzsystemelementen und einer Bedürfnissituation basiert, die sich in Form eines Produktprofils modellieren lässt, wobei die Unterschiede lediglich in der Ausprägung dieser beiden Elemente liegen. So orientieren sich die ausgewählten, den Innovationen zugrunde liegenden Referenzsystemelemente an den abgeleiteten Bedürfnissen von Kunden und Anwendern im Hinblick auf weitere Größen der Zielgruppen wie beispielsweise Einkommenssituation. Demnach lässt sich durch das Produktprofil (vgl. Abschnitt 2.1.1.1) und eine diesem entsprechende, zielgerichtete Modellierung des Referenzsystems (vgl. Abschnitt 2.2.1) eine ausreichende Beschreibung wie auch Differenzierung der Innovationsformen vornehmen, die durch den quantifizierbaren Neuentwicklungsanteil im Sinne des Modells der PGE – Produktgenerationsentwicklung vollständig beschreibbar ist.

2.1.1.1 Produktprofil

Das Modellieren der Bedürfnissituation im Rahmen des sogenannten Produktprofils ist nach ALBERS, HEIMICKE, HIRSCHTER et al. (2018) folglich eine zentrale Aktivität, die das Innovationspotenzial des zu entwickelnden Produkts steigert. Dabei wird das Produktprofil – ein zentraler Bestandteil des initialen Zielsystems – wie folgt definiert:

Produktprofil³:

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

Ein Nutzenbündel wird 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.“

Demzufolge beschreibt das Produktprofil den Lösungsraum, nicht aber die konkrete technische Lösung des zu entwickelnden Produkts. Die Modellierung des Nutzen-

³ (Albers, Heimicke, Walter et al., 2018, S. 255); Übersetzung nach IPEK-Glossar (IPEK, 2021).

bündels, das explizit neben dem Kunden- und Anwendernutzen des angedachten Produkts auch den Anbieternutzen umfasst, erfolgt lösungsoffen. Dabei lassen sich die Informationen des Produktprofils im Rahmen des Produktprofilschemas – also eines modular aufgebauten Steckbriefs – wiedergeben (vgl. Abbildung 2.3).

Productclaim <ul style="list-style-type: none"> • Beinhaltet das Hauptziel und eine kurze Beschreibung des Produkts • Beginnt mit der Formulierung: <i>Wir brauchen ein Produkt, das...</i> 		
Initiale Produktbeschreibung <ul style="list-style-type: none"> • Beinhaltet detaillierteren Überblick des Produkts • Beschreibt u.a. Produkteigenschaften, Hauptfunktionen oder das Alleinstellungsmerkmal (USP) 	Bild <ul style="list-style-type: none"> • Zeigt eine kurze Skizze oder Symbol zur Verbesserung der Kommunikation 	
Referenzsystem <ul style="list-style-type: none"> • Schlüsselfaktor zur Steigerung des Entwicklungserfolgs • Frühere Produktgenerationen, interne und externe Referenzprodukte 	Use-Cases <ul style="list-style-type: none"> • Beschreiben spezifische Situationen, in denen das Produkt eine Lösung bietet • Kontext, in dem das Produkt verwendet, oder mit dem Produkt interagiert wird. 	
Anbiertennutzen <ul style="list-style-type: none"> • Zeigt wie Anbieter von Produkt profitieren könnte • z.B. strategischer Nutzen, Passung zur Marke, Geschäftsmodelle 	Kundennutzen <ul style="list-style-type: none"> • Definiert Zielgruppe, Marktsegment und zu lösendes Problem • Zeigt wie Kunde von Produkt profitieren würde 	Anwendernutzen <ul style="list-style-type: none"> • Definiert Zielgruppe und zu lösendes Problem des Anwenders • Zeigt wie Anwender vom Produkt profitieren würde
Wettbewerbssituation <ul style="list-style-type: none"> • Kurzer Überblick über Wettbewerbslandschaft • z.B. Wettbewerber, Patente 	Bedarf <ul style="list-style-type: none"> • Kurzer Überblick hinsichtlich der Bedarfssituation • z.B. Marktpotential, Trends & Szenarien 	
Validierung des ... durch <ul style="list-style-type: none"> • Jedes Element der anderen Module hat eine Stufe und Art der Validierung • Potentielle Ausprägungen: Hypothese, empirisch bewiesen,... • Validierung beispielsweise durch Marktstudien, Experteninterviews, etc. 		
Rahmenbedingungen / Einschränkungen <ul style="list-style-type: none"> • Beschreiben allgemeine, nicht zu beeinflussende Randbedingungen. • z.B. rechtliche Beschränkungen, Normen, strategische Beziehungen, etc. 		

Abbildung 2.3: Produktprofilschema zur Visualisierung von Produktprofilen in Anlehnung an ALBERS, HEIMICKE, WALTER et al. (2018, S. 5); Erläuterung der einzelnen Felder nach ALBERS, HEIMICKE, WALTER et al. (2018, S. 5–6)

In Ergänzung können im Rahmen des Produktprofils bereits Einschränkungen des Lösungsraums dadurch vorgenommen werden, dass zu nutzende Technologien oder zu nutzende Referenzen festgelegt werden (Albers, Heimicke, Walter et al.,

2018). Neben der Möglichkeit der Validierung entwickelter technischer Lösungen mithilfe des explizierten Produktprofils, also gegenüber dem angestrebten Produktnutzen, ist die Validierung des Produktprofils als solches von entscheidender Bedeutung für das Innovationspotential. Dies umfasst vorrangig die Absicherung der Relevanz und der getroffenen Annahmen des angedachten Nutzenbündels (Albers, Heimicke, Walter et al., 2018).

BASEDOW et al. (2018) schlagen zwei verschiedene Vorgehensweisen zur Erstellung von Produktprofilen vor. So differenzieren sie zwischen einer **Top-down-Vorgehensweise**, im Rahmen derer zunächst der *Productclaim*, der eine Beschreibung der zentralen Bestandteile des Produkts mit Fokus des adressierten Nutzenbündels beinhaltet, generiert wird und darauf aufbauend die weiteren Felder mit Informationen befüllt werden sowie einer **Bottom-up-Vorgehensweise**. Im Zuge ebendieser werden zunächst die weiteren Felder mit validen Informationen befüllt und schließlich der *Productclaim* abgeleitet. Unabhängig des gewählten Vorgehens schlagen die Autoren ein Rechercheframework vor, das Suchfelder (z.B. Wettbewerbssituation, spezifische Umgebung etc.) beinhaltet, um die notwendigen Informationen zu ermitteln. Die Verwendung einer der beiden Vorgehensweisen in Kombination mit dem Rechercheframework zur Vergrößerung der initialen Wissensbasis verbessert laut den Autoren die Qualität des Produktprofils und erhöht damit das Innovationspotential des zu entwickelnden Produkts.

Das sogenannten Eigenschaftsprofil ist eine weitere Möglichkeit zur Explizierung des Produktprofils, das im Kontext der Automobilentwicklung erstellt worden ist (Heitger, 2019; Hirschter et al., 2018). Dabei wird das angedachte Nutzenbündel mithilfe kundenerlebbarer Produkteigenschaften abgebildet. Die Beschreibung der Ausprägung ebendieser dieser kann entweder in Abhängigkeit der Veränderung zu definierten Referenzprodukten, aber beispielsweise auch hinsichtlich der Kundenrelevanz oder einer gezielten Wettbewerbsdifferenzierung erfolgen (Reinemann, Hirschter, Mandel, Heimicke & Albers, 2018). Nach HEITGER (2019) lassen sich die Eigenschaften in der Regel in drei Ebenen unterteilen. Auf der 1. Ebene werden Produkteigenschaften vorrangig in Form von Eigenschaftsspinnen beschrieben, die den übergeordneten Produktcharakter spezifizieren. Zur weiteren Detaillierung ebendieser dienen die Beschreibungen der Produkteigenschaften auf Ebene 2, die das Profil der 1. Ebene konkretisieren und häufig einen ersten Bezug zu Produktfunktionen herstellen. Zur Modellierung ebendieser schlägt HEITGER (2019) die Verwendung von Polaritätsprofilen vor. Die Produkteigenschaften der 3. Ebene, zu deren Modellierung die Verwendung von Eigenschaftssteckbriefen empfohlen wird, konkretisieren die Produkteigenschaften der 2. Ebene tiefergehender. Zudem können auf dieser Ebene auch Use-Cases oder physikalische Größen etc. zum Einsatz

kommen. Der Zusammenhang dieser drei Ebenen und der zugehörigen Modellierungen ist Abbildung 2.4 zu entnehmen.

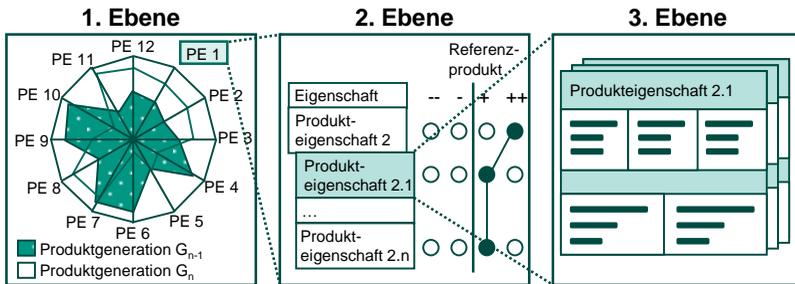


Abbildung 2.4: Darstellung der verschiedenen Ebenen des Eigenschaftsprofils (Hirschler et al., 2018); Darstellung nach HEITGER (2019, S. 126)

Die Erkenntnisse hinsichtlich dieser Strukturierung und damit die Ableitung von Produktprofilen entstammen unter anderem einer retrospektiven Analyse von erhobenen Produktprofilen verschiedener Produktgenerationen hinsichtlich ihrer zentralen Merkmale (Albers, Gladysz, Heitger & Wilmsen, 2016).

Darauf aufbauend schlagen ALBERS, HEITGER et al. (2018) zur Erstellung von Produktprofilen einen mehrstufigen Referenzprozess vor. In dessen Rahmen wird basierend auf einer im Sinne der strategischen Produktplanung durchgeführten Umfeldanalyse und Umfeldprognose sowie einer Analyse und Bewertung der vorliegenden Situation und Rahmenbedingungen des Entwicklungsvorhabens das Eigenschaftsprofil abgeleitet. Durch die Verknüpfung der bis dato lösungsoffenen beschriebenen kundenerlebbarer Produkteigenschaften mit lösungsspezifischen Elementen erfolgt eine initiale Bewertung des gefundenen Produktprofils. Zur Unterstützung dieser Verknüpfung empfehlen ALBERS, HEITGER et al. (2018) das sogenannten Produktebenenmodell zur Strukturierung der Produktspezifikation (vgl. Abbildung 2.5). Dieses unterstützt insbesondere die iterative Konkretisierung, ausgehend von der lösungsoffenen Beschreibung des Produktprofils zur lösungsspezifischen Produktdefinition.

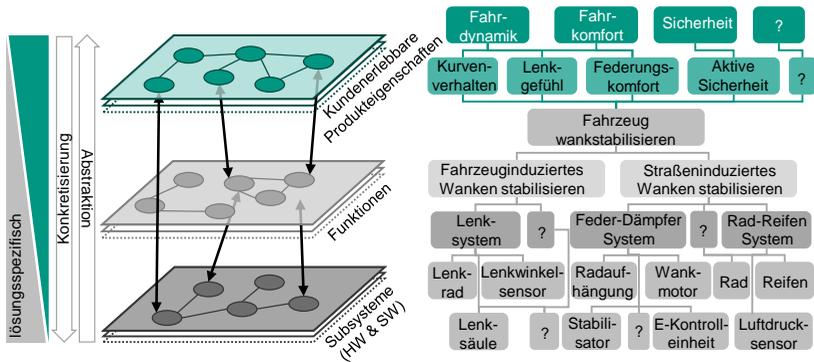


Abbildung 2.5: Darstellung des Produktebenenmodells zur Strukturierung der Spezifikation mit beispielhafter Anwendung für einen Anwendungsfall der Automobilbranche nach ALBERS, HEITGER et al. (2018, S. 10)

Auf der obersten Ebene stehen dabei die lösungsoffen formulierten kundenerlebbar Produktigenschaften, die mit den notwendigen Produktfunktionen zur Realisierung ebendieser auf der mittleren Ebene verbunden sind. Diese Produktfunktionen wiederum sind mit den Produktsubsystemen auf der untersten Ebene verbunden, die an der Funktionsrealisierung beteiligt sind. Diese Ebene weist damit den höchsten Konkretisierungsgrad auf. Folglich bilden die Produktfunktionen einen Koppler zwischen der Produktbeschreibung in Form der lösungsneutralen kundenerlebbar Produktigenschaften im Rahmen des Produktprofils und der Produktbeschreibung der untersten Ebene in Form der relevanten Subsysteme. Durch dieses Produktmodell lässt sich demzufolge entsprechend den abstrakten Kundenanforderungen, die sich in Produktigenschaften darstellen lassen, die technische Umsetzung dieser systemisch vorhersagen und damit die Kundenorientierung der technischen Lösungen steigern. Darüber hinaus ermöglicht das Produktmodell die frühzeitige Abschätzung von Auswirkungen definierter Produktigenschaften auf das technische System oder auch der technischen Machbarkeit. Des Weiteren lassen sich durch eine konsequente Modellierung systematisch Zielkonflikte auf sämtlichen Ebenen des Systems identifizieren und bestehende technische Lösungen hinsichtlich ihrer Auswirkung auf die Nutzenbündel des Produktprofils analysieren (Albers, Heitger et al., 2018; Hirschter et al., 2018).

2.1.2 Prozessmodelle der Produktentwicklung

Nach ALBERS (2010) ist jeder Produktentstehungsprozess einzigartig und individuell. Dies stellt eine zentrale Herausforderung hinsichtlich der Modellierung ebendieser Prozesse dar. Nachfolgend werden unterschiedliche in der Forschung und Praxis etablierte (management- und entwicklerorientierte) Prozessmodelle erörtert. Insbesondere der Stellenwert von Iterationen und deren Abbildung in Entwicklungsprozessen stehen dabei im Fokus der Betrachtung. Dabei wird die Notwendigkeit von Iterationen im Sinne der Wissensarbeit aus Entwicklersicht dargestellt, die eine Diskrepanz zu managementorientierten Ansätzen wie dem Stage-Gate-Prozess darstellt. Dadurch wird initial die Bedeutung von Unsicherheiten und deren Berücksichtigung in der Produktentwicklung beleuchtet.

2.1.2.1 Stage-Gate

Der Stage-Gate-Ansatz ist ein managementorientiertes Prozessmodell zur Abbildung von Produktentstehungsprozessen. Hierbei wird primär zwischen den Elementen Stages – Phasen – und Gates – Meilensteinen – differenziert. Der Ansatz basiert dabei auf der Überlegung, Produktentstehungsprozesse auf Basis einer logischen Abfolge definierter Phasen zu beschreiben und wurde in drei aufeinanderfolgenden Generationen entwickelt, die in Abbildung 2.6 dargestellt sind. So bildet die **erste Generation** des Stage-Gate-Ansatzes eine rein sequenzielle Abfolge der verschiedenen Prozesse. Der Name **Supplier to Customer** (Zulieferer zu Kunde) beschreibt die beiden Sichtweisen auf die Phasen. Betrachtet wird jede Phase als Kunde der vorherigen Phase. Folglich kann eine neue Phase erst beginnen, wenn die Ergebnisse der vorherigen Phase in einer angemessenen Form vorliegen, wodurch zeitliche Verzögerungen entstehen (Cooper, 1990, 1994).

Im Rahmen der **zweiten Generation** wird die Marktorientierung durch frühzeitige und intensivere Integration nicht technischer Tätigkeiten (z.B. Marketing etc.) forciert und damit eine höhere Erfolgsquote gewährleistet. Aktivitäten können im Rahmen dieser Generation parallel ausgeführt werden, um Zeitersparnisse zu realisieren, wohingegen Phasen weiterhin rein sequenziell durchlaufen werden.

Aufbauend auf dem Verständnis von TAKEUCHI und NONAKA (1986, S. 4) entwickelt COOPER (1994) die **dritte Generation** des Stage-Gate-Ansatzes, im Rahmen derer Phasen überlappend gestaltet sind. Hierdurch kann eine Zeitersparnis realisiert werden, da Aktivitäten aus späteren Phasen gestartet werden können, bevor die vorherige Phase abgeschlossen ist. Darüber hinaus werden durch die Fuzzy Gates absolute Zustände in der Freigabe von Phasen vermieden. Auf diese Weise kann adaptiv entschieden werden, Aufgaben, die bis dato nicht mit Zufriedenheit erfüllt sind, später abzuschließen, wenn diese unkritisch für die Projektfortführung sind.

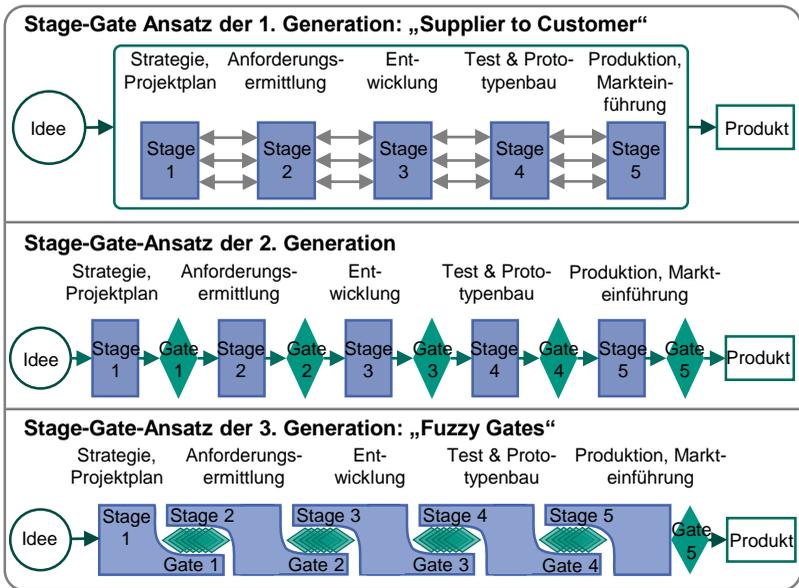


Abbildung 2.6: Darstellung der drei Generationen des Stage-Gate-Ansatzes nach COOPER (Cooper, 1994); Darstellung nach MEBOLDT (2009, S. 34)

2.1.2.2 VDI 2206

Das in der Richtlinie VDI 2206 beschriebene entwicklerorientierte Vorgehensmodell, das den Namen V-Modell in Anlehnung an die Gestaltung des zugehörigen Makrozyklus trägt, beschreibt ein praxisnahes Modell für die Entwicklung mechatronischer Systeme (VDI 2206). Mechatronische Systeme setzen sich nach CZICHOS (2015) aus dem Zusammenspiel mechanischer System mit Elementen der Elektrotechnik zusammen, wobei die Informationstechnik als dritte beteiligte Disziplin das Teilprodukt Software bereitstellt, das die logischen Abläufe steuert. Zielsetzung des Ansatzes ist es, diese domänenübergreifende Zusammenarbeit durch ein geeignetes Vorgehensmodell zu unterstützen. Dabei finden neben dem Makrozyklus Prozessbausteine für wiederkehrende Tätigkeiten und als Mikrozyklus ein Problemlösungszyklus Anwendung. Dieser auf Mikroebene eingesetzte Problemlösungszyklus basiert auf dem allgemeinen Problemlösungszyklus nach DAENZER

und HUBER (1994). In Rahmen dessen wird die systematische Problemlösung durch die Unterteilung in die Teilschritte Situationsanalyse, Zielformulierung, Lösungsfindung, Bewertung der Lösung und Auswahl und Entscheidung strukturierend unterstützt. Erweitert wird dieser Problemlösungszyklus in der VDI 2206 zusätzlich um den Schritt Planen des weiteren Vorgehens und Lernen (VDI 2206). Die Makroebene wird mit dem **V-Modell** strukturiert (vgl. Abbildung 2.7).

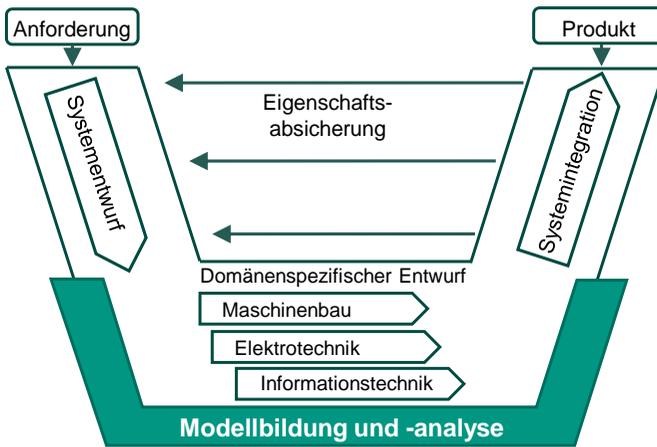


Abbildung 2.7: Darstellung des Makrozykluses V-Modell zur Beschreibung der Entwicklung mechatronischer Produkte (VDI 2206, S. 29)

Zu Beginn der Entwicklung werden Anforderungen an das zu entwickelnde mechatronische System oder Produkt definiert und es werden zugehörige Testfälle abgeleitet, die im Rahmen der Validierung die spätere Absicherung der Eigenschaftsausprägung sicherstellen sollen. Nachfolgend wird der Systementwurf für das zu entwickelnde Produkt erstellt, in dessen Rahmen die entsprechend den Anforderungen notwendige Gesamtfunktion in Teilfunktionen untergliedert wird. Anschließend werden die domänenspezifischen Entwürfe für die Teilfunktionen abgeleitet und damit die Lösungskonzepte weiter konkretisiert. Die entstandenen Teilsysteme werden im Rahmen der Systemintegration in das Gesamtsystem integriert, woran sich die sukzessive Überprüfung der Eigenschaften anschließt. Im Rahmen der Richtlinie wird herausgestellt, dass zur Entwicklung komplexer Systeme mehrere Durchläufe des, durch das V-Modell beschriebenen, Makrozyklus notwendig sind.

In der Literatur wird die Vorgehensweise des Makrozyklus dahingehend kritisiert, dass Anforderungen zu Beginn des Projekts lediglich bedingt derart festgelegt werden können, dass das gesamte weitere Vorgehen darauf fußt (Muschik, 2011). JÖRG (2005) konstatiert diesbezüglich, dass ca. die Hälfte der später realisierten Produktmerkmale nicht den Anforderungen entsprechen, die zu Beginn der Entwicklung im Rahmen einer Anforderungsliste bzw. eines Lastenhefts dokumentiert wurden. Vielmehr können sich Anforderungen durch sich ändernde Rahmenbedingungen wie Veränderung von Gesetzen oder Handlungen von Wettbewerbern und insbesondere zusätzlichem verfügbarem Wissen im Rahmen der Entwicklung ändern. Die Rolle der Validierung wird gleichfalls in dem beschriebenen Makrozyklus als kritisch eingestuft. So stellt ALBERS (2010) heraus, dass die Validierung die zentrale Aktivität in der Produktentwicklung zur Generierung von Wissen ist und damit auch eine zentrale Rolle in der Konkretisierung des Zielsystems hat. Somit gilt es, früh und kontinuierlich zu validieren und damit ein iteratives Wechselspiel zwischen Kreative- und Validierungsschritten zu erzeugen und damit den kontinuierlichen Erkenntnisgewinn zu fördern (Albers, 2010).

2.1.2.3 Iterationen in der Produktentwicklung

Im Sinne der Einzigartigkeit von Produktentwicklungsprozessen, vornehmlich in Bezug auf das verfügbare und notwendige Wissen und die damit verbundenen Aktivitäten spielen Iterationen aus Sicht der Produktentwickelnden eine zentrale Rolle. Nach COSTA und SOBEK (2003) beschreibt eine Iteration im Rahmen der Produktentwicklung eine sich wiederholende Designaktivität. In diesem Zusammenhang ist herauszustellen, dass es sich nicht um ein reines Wiederholen handelt, sondern vielmehr eine vertiefende Aktivität. So umfasst eine Iteration einen Zyklus, der aus den Elementen – Sammeln von Informationen, Verarbeiten dieser Informationen, Identifizieren möglicher Designrevisionen und Ausführung ebendieser – besteht. So werden Iterationen oftmals entsprechend dem TOTE-Modell⁴ (Miller, 2013) oder dem PDCA-Zyklus⁵ (Deming, 2000) beschrieben.

WYNN und ECKERT (2017) unterscheiden drei verschiedene Kategorien von Iterationen: *progressive*, *korrektive* und *koordinative Iterationen*. *Progressive Iterationen*

⁴ TOTE steht für die vier aufeinander aufbauenden Aktivitäten Test-Operate-Test-Exit und beschreibt ein Handlungsprogramm, wobei ein SOLL-/IST-Abgleich die notwendigen Maßnahmen und eventuell notwendige Nachjustierungen ermittelt.

⁵ Der PDCA-Zyklus oder auch Demmingkreis beschreibt einen vierphasigen iterativen Prozess bestehend aus den vier Schritten Plan-Do-Act-Check, der ursprünglich aus dem Qualitätsmanagement stammt. Dabei wird im dritten Schritt die zuvor geplante und umgesetzte Maßnahme hinsichtlich ihrer Wirksamkeit bewertet und darauf aufbauend über das weitere Vorgehen entschieden.

entstehen nach Ansicht der Autoren, indem im Zuge von Produktentwicklungsaktivitäten Wissen generiert wird bzw. aufgrund neuer bislang nicht verfügbarer Informationen entsteht und lassen sich damit nicht verhindern. Darüber hinaus lassen sich fünf verschiedene Stereotypen *progressiver Iterationen* differenzieren (vgl. Abbildung 2.8):



Abbildung 2.8: Stereotypen progressiver Iterationen (Wynn & Eckert, 2017, S. 167)

Korrektive Iterationen sind besonders auf ungeplante Vorkommnisse zurückzuführen. Ursache sind beispielsweise Test-Ergebnisse, die Nacharbeiten notwendig machen, oder Probleme, die im späteren Produktlebenszyklus aufgetreten sind. Im Zuge der *korrektiven Iterationen* wird zwischen den Stereotypen *Neue Arbeit*, *Nacharbeit* und *Churn* differenziert (vgl. Abbildung 2.9).

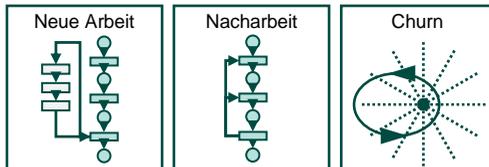


Abbildung 2.9: Stereotypen korrekativer Iterationen (Wynn & Eckert, 2017, S. 169)

Koordinative Iterationen (vgl. Abbildung 2.10) beschreiben Iterationen, die das Ziel adressieren, Prozesse effektiver, effizienter oder vorhersehbarer zu machen. Im Rahmen dieser werden erneut fünf Stereotypen unterschieden:

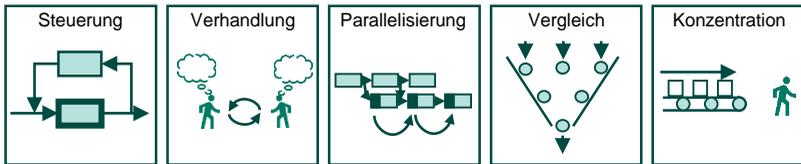


Abbildung 2.10: Stereotypen koordinativer Iterationen (Wynn & Eckert, 2017, S. 170)

Bei der Betrachtung der Stereotypen zur tiefergehenden Beschreibung von Iterationen wird deutlich, dass diese unterschiedliche Auswirkung und Relevanz in Bezug auf den Produktentstehungsprozess aufweisen. So werden einerseits Iterationen ersichtlich, die als unproduktive Nacharbeit eingestuft werden können und andererseits existieren Iterationen, die notwendig sind, um Entwicklungsaufgaben zu bewältigen bzw. das aus Entwicklersicht notwendige Wissen zu generieren, um mit der vorliegenden Komplexität und Unsicherheit umzugehen. MEBOLDT, MATTHIESEN und LOHMEYER (2012) differenzieren dahingehend zwischen einer Management- und einer Entwicklersicht auf Iterationen. Dabei wird der Produktentstehungsprozess aus Sicht des Managements als Standard aufgefasst, der zur Planung und Steuerung des Unternehmens hinsichtlich Ressourcen, Investitionen etc. verwendet wird und im Zuge dessen Iterationen Zeit und Kosten verursachen. Aus Sicht der Produktentwickelnden ist der Produktentstehungsprozess, bei dem Iterationen alltäglich und auf den notwendigen Wissensgewinn zurückzuführen sind bzw. für diesen eine grundlegende Notwendigkeit darstellen, hingegen durch seine Einzigartigkeit (Albers, 2010) gekennzeichnet. MEBOLDT et al. (2012) folgern, dass Iterationen ein entscheidender Bestandteil der Produktentstehungsprozesse sind, der nicht weggelassen werden kann, vielmehr sollten Iterationen in frühen Stadien der Produktentwicklung beispielsweise durch Validierungsaktivitäten gefördert werden, um späte Iterationen über Meilensteine hinweg zu vermeiden.

2.1.2.4 Scrum

Die Notwendigkeit der Berücksichtigung von Iterationen in Produktentwicklungsprozessen wurde im vorhergehenden Abschnitt thematisiert. Darauf aufbauend wird nachfolgend der iterative Ansatz Scrum vorgestellt, der aus der Softwareentwicklung stammt und das Ziel verfolgt, unklare Ziele und Anforderungen systematisch zu konkretisieren (Schwaber & Sutherland, 2020). Der Scrum-Ansatz, bei dem insbesondere die stetigen Iterationen und das Entwicklungsteam einen zentralen Aspekt bilden, umfasst ein Regelwerk, das die Zusammenarbeit des Teams, die dazu

notwendigen Verantwortlichkeiten und abzuhaltenden Meetings mit Vorgaben über die Dauer, Ziele und Methoden beschreibt. Dazu leitet der Produkt-Owner, der die Rolle des Kunden vertritt, wie in Abbildung 2.11 dargestellt, entsprechend einer Vision den Produkt-Backlog ab, der kontinuierlich weiterentwickelt wird.

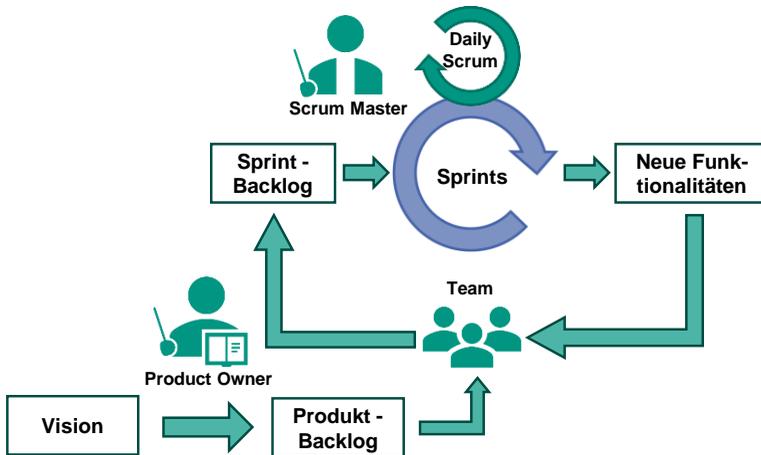


Abbildung 2.11: Darstellung des Scrum-Frameworks mit Abläufen, Artefakten und Verantwortlichkeiten; Darstellung nach HANSER (2010, S. 69)

Im Rahmen eines „Sprints“, der einen Entwicklungszyklus darstellt, werden die Anforderungen und Ziele des Produkt-Backlogs priorisiert und ausgewählt, die im Rahmen des Sprints umgesetzt werden sollen. Somit gilt es am Ende jedes Sprints, den Kunden ein funktionsfähiges Inkrement des Produkts zur Verfügung zu stellen, sodass diese das Inkrement gezielt bewerten können. Darauf aufbauend wird der Produkt-Backlog bei Bedarf angepasst. Die für einen Sprint umzusetzenden Ziele bzw. die dazu notwendigen Aktivitäten werden in den sogenannten Sprint-Backlog aufgenommen, wobei die Aktivitäten nicht länger als einen Tag dauern dürfen. Im Rahmen des Daily Scrum, einer täglich stattfindenden 15-minütigen Besprechung, werden die Aktivitäten des anstehenden Tags abgestimmt. Nach Abschluss des Sprints wird im Rahmen des Sprint Reviews das entwickelte Produktinkrement durch Kunden getestet, bevor der Sprint-Backlog für den kommenden Sprint festgelegt wird. Zusätzlich ist nach Abschluss des Sprints eine Retrospektive angedacht, im Rah-

men derer das Entwicklungsteam den Ablauf des Sprints reflektiert und Verbesserungsmaßnahmen erörtert. Der Scrum-Master sorgt im Rahmen von Scrum für die konsequente Umsetzung des Prozesses und der zugehörigen Strukturen (Hanser, 2010; Schwaber & Sutherland, 2020).

2.1.2.5 Das iPeM – integriertes Produktentstehungsmodell

Um die notwendige Flexibilität zu berücksichtigen, leiten ALBERS und MEBOLDT (2007) mit dem integrierten Produktentstehungsmodell (iPeM) ein Metamodell ab, das sowohl eine management- als auch eine entwicklungsorientierte Sichtweise auf die Produktentwicklung ermöglicht (Albers, Braun & Muschik, 2010; Albers, Sadowski & Marxen, 2011) und dabei die im Sinne der Wissensarbeit notwendigen Iterationen berücksichtigt (Albers, Braun et al., 2010). Das iPeM baut auf dem ZHO-Systemtripler und der Problemlösungsmethodik SPALTEN auf.

Das erweiterte ZHO-Modell der Systemtechnik

Zur Beschreibung von ingenieurtechnischen Aufgaben und Tätigkeiten auf Basis der Systemtechnik leitet ROPOHL (1975) den Regelkreis der Ingenieurstätigkeit (vgl. Abbildung 2.12) ab.



Abbildung 2.12: Regelkreis der Produktentwicklung nach ROPohl (1975, S. 33)

Dieser besteht aus den drei Systemen: Sachsystem, Handlungssystem und Zielsystem (Ropohl, 2009). Ingenieursaufgaben oder Tätigkeiten münden nach ROPohl (1975) immer in technischen Gebilden, die das Sachsystem bilden. Zur Erstellung dieser stehen dem Ingenieur Maßnahmen und Einrichtungen zur Verfügung, die ROPohl (1975) durch das Handlungssystem beschreibt. Zur Ausrichtung sämtlicher Tätigkeiten bestehen Zielvorgaben, die in der Gesamtheit das Zielsystem bilden. Als ingenieurtechnische Aufgabe beschreibt er, dass in einem Handlungssystem gemäß den im Zielsystem gesammelten Zielvorgaben ein Sachsystem erarbeitet wird. Dabei wirkt das Handlungssystem direkt auf das Zielsystem und das Sachsystem auf das Handlungssystem oder wird ein Bestandteil ebendieses (Ropohl, 1975).

ALBERS (2010) nutzt dieses Modell und beschreibt darauf aufbauend die Produktentwicklung als die Überführung eines zunächst vagen initialen Zielsystems in ein Objektsystem, das dem Sachsystem von ROPOHL gleichzusetzen ist, durch ein geeignetes Handlungssystem. Entsprechend dem **Prinzip der indirekten Wechselwirkung** nach MEBOLDT (2009) besteht zwischen dem Ziel- und dem Objektsystem keine direkte Wechselwirkung, vielmehr erfolgt die gegenseitige Beeinflussung durch das Handlungssystem. Dabei gestaltet das Handlungssystem mittels Aktivitäten sowohl Ziel- als auch Objektsystem. Folglich sind Ziel- und Objektsystem als passiv-reaktive Systeme zu betrachten, die sich nicht selbst und nicht gegenseitig entwickeln, während das Handlungssystem ein aktives System ist (Albers & Meboldt, 2007; Meboldt, 2009). Dieser Zusammenhang lässt sich durch das ZHO-Systemtripler beschreiben, das in Abbildung 2.13 dargestellt ist.

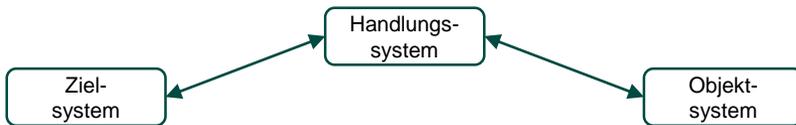


Abbildung 2.13: ZHO-Modell der Systemtechnik nach ALBERS und MEBOLDT (2007)

Das Handlungssystem ist dabei ein soziotechnisches System, das sämtliche Methoden, Aktivitäten und Prozesse sowie die verfügbaren Ressourcen inkludiert. ALBERS und BRAUN definieren:

Handlungssystem⁶:

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

Das Objektsystem schließt sämtliche Objekte ein, die im Laufe der Entwicklung entstehen. Zu diesen gehören neben dem technischen Produkt jegliche Dokumente, Modelle etc. ALBERS und BRAUN definieren:

⁶ (Albers & Braun, 2011a, S. 16).

Objektsystem⁷:

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

Das Zielsystem⁸ beinhaltet sämtliche relevanten Ziele, deren Randbedingungen sowie Wechselwirkungen und bildet damit eine mentale Vorstellung der geplanten Eigenschaften des zu entwickelnden Produkts. Folglich bildet das Zielsystem einen Speicher hinsichtlich der zur Entwicklung notwendigen Informationen, wohingegen physische Objekte wie das zu entwickelnde Produkt kein Bestandteil des Zielsystems sind (Albers & Braun, 2011a). Das Zielsystem selbst ist ein dynamisches System, dessen Elemente sich im laufenden Produktentstehungsprozess erweitern, konkretisieren oder verändern können (Meboldt, 2009), wobei die Elemente des Zielsystems nachvollziehbar und begründet sein müssen.

Entsprechend dem **heuristischen Prinzip** des ZHO-Systemtripels ist nach MEBOLDT (2009) keine eindeutige Zuteilung der Artefakte zu den einzelnen Systemen möglich, sondern diese ist vielmehr von der Betrachtungsperspektive abhängig. So kann beispielsweise bei der Entwicklung eines Handlungssystems ebendieses als Objektsystem betrachtet werden oder Elemente des Objektsystems können Erkenntnisse umfassen, die Bestandteile des Zielsystems werden. MEBOLDT (2009) beschreibt entsprechend: „Ein Element ist nicht absolut dem Ziel-, Handlungs- oder Objektsystem zugeordnet. Die Zuordnung ist relativ und hängt immer vom Zeitpunkt, Zweck und Standpunkt ab“ (Meboldt, 2009, 156).

Außerdem können nach ALBERS und MEBOLDT (2006) sowohl das Ziel- als auch das Objektsystem unabhängig voneinander entwickelt werden. Um den Erfolg eines Produktentwicklungsvorhabens sicherzustellen, gilt es gleichwohl, die beiden Systeme aufeinander abzustimmen. MEBOLDT (2009) beschreibt unter dem Prinzip der

⁷ (Albers & Braun, 2011a, S. 16–17).

⁸ Eine ausführliche Definition des Zielsystems findet sich in Abschnitt 2.2.2.

doppelten Kontingenz: „Sowohl das Ziel- als auch das Objektsystem sind kontingent. Erst durch die gleichwertige Kopplung der beiden Systeme kann ein Produkt zielgerichtet entwickelt werden“ (Meboldt, 2009, S. 195). Abbildung 2.14 visualisiert den Zusammenhang der doppelten Kontingenz.

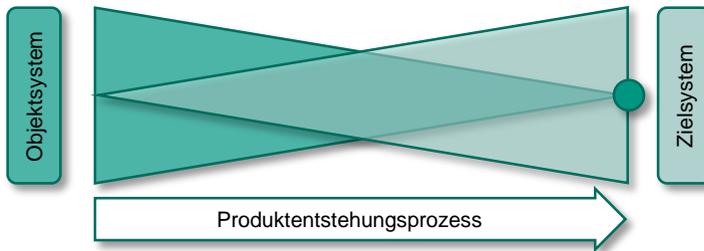


Abbildung 2.14: Doppelte Kontingenz der Produktentstehung: Darstellung des Informationsgehalts und des Umfangs des Zielsystems sowie der Varietät und der Unbestimmtheit des Objektsystems über den Produktentstehungsprozess nach ALBERS und MEBOLDT (2006); Darstellung nach MEBOLDT (2009, S. 157)

Dies bedeutet, dass zu Beginn der Produktentwicklung beide Systeme zunächst unbestimmt sind, also kontingent. Der Informationsgehalt des Zielsystems ist eher gering und prinzipiell kann jedes Objekt die Eigenschaften des Zielsystems erfüllen. Es herrscht somit keine Einschränkung der Lösungsvielfalt im Objektsystem. Durch die initiale Definition des Zielsystems werden erste potentielle Lösungen ausgeschlossen. Das Generieren von Objekten und das Ableiten von Erkenntnissen vervollständigt nachfolgend das Zielsystem weiter, bis der Informationsgehalt des Zielsystems am Ende der Entwicklung vollständig ist und das Produkt als Teil des Objektsystems der im Zielsystem beschriebenen Ausprägung entspricht. Dementsprechend ist die Varietät des Objektsystems auf ein Minimum reduziert.

Es wird ersichtlich, dass sowohl das Zielsystem als auch das Objektsystem dynamische Systeme darstellen, die sich im Laufe des Produktentwicklungsprozesses iterativ weiterentwickeln. Dies lässt sich über das erweiterte ZHO-Systemtripler beschreiben, bei dem der menschenzentrierte Charakter der Produktentwicklung durch die Aufteilung des Handlungssystems in die Wissensbasis und den Lösungsraum abgebildet wird (vgl. Abbildung 2.15).

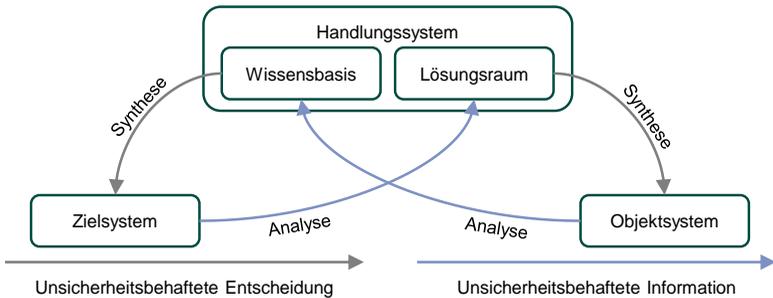


Abbildung 2.15: Erweitertes ZHO-Modell nach ALBERS, EBEL und LOHMEYER (2012, S. 8) zur Abbildung der menschzentrierten Produktentwicklung

Die Wissensbasis umfasst dabei die Menge an fallspezifischem und domänenspezifischem Wissen, die innerhalb des Handlungssystems zur Verfügung steht. Der Lösungsraum entspricht der Menge jeglicher subjektiv wahrgenommener Lösungsmöglichkeiten eines Problems, das beispielsweise durch Ziele eingeschränkt wird. Durch iteratives Durchlaufen von Analyse- und Syntheseschritten werden Ziel- und Objektsystem co-evolutionär entwickelt. Dabei beschreibt die Analyse eine Handlung, durch die das Verständnis hinsichtlich eines bestehenden Systems erreicht wird, während bei der Synthese ein neues Ziel oder Objekt entsteht. So wird durch die Analyse eines bestehenden Produkts als Teil des Objektsystems Wissen generiert, das eine Erweiterung der Wissensbasis bewirkt. Mithilfe dieses Wissens können nachfolgend neue Ziel abgeleitet bzw. synthetisiert werden, deren Analyse den Lösungsraum wiederum beeinflusst. Durch die Synthese des Lösungsraums wird ein neues Objekt, beispielsweise eine Zeichnung oder ein Prototyp, geschaffen, das nachfolgend wieder analysiert werden kann. Somit wird das Zielsystem kontinuierlich weiter detailliert und der Informationsgehalt gesteigert. Dabei gilt, dass sowohl Synthese als auch Analyse mit Unsicherheiten behaftet sind. So kann die Analyse beispielsweise auf einer unsicherheitsbehafteten Information aufbauen (Lohmeyer, 2013).

Problemlösungsmethodik SPALTEN

Nach ALBERS, BURKARDT und SAAK (2002) kann jeder Produktentstehungsprozess als Problemlösungsprozess verstanden werden. Nach DÖRNER (1976) steht „ein Individuum [...] einem Problem gegenüber, wenn es sich in einem inneren oder äußeren Zustand befindet, den es aus irgendwelchen Gründen nicht für wünschenswert

hält, aber im Moment nicht über die Mittel verfügt, um den unerwünschten Zustand in den wünschenswerten Zielzustand zu überführen“ (Dörner, 1976, S. 10). ALBERS BURKARDT, MEBOLDT und SAAK (2005) leiten daraus für die Produktentwicklung ab, dass ein Problem als die Abweichung eines zumindest teilweise bekannten Ausgangszustands (IST) und eines vagen gewünschten Zielzustands (SOLL) verstanden werden kann, wobei der Weg von IST zu SOLL nur partiell bekannt ist.

Zur Lösung eines Problems schlägt ALBERS die Problemlösungsmethodik SPALTEN vor (Albers et al., 2002). Wobei SPALTEN ein Akronym ist und jeder Anfangsbuchstabe somit für eine Aktivität der Problemlösung steht:

- **S** – Situationsanalyse
- **P** – Problemeingrenzung
- **A** – Alternative Lösungen
- **L** – Lösungsauswahl
- **T** – Tragweitenanalyse
- **E** – Entscheiden und Umsetzen
- **N** – Nachbereiten und Lernen

Die Schritte *S*, *P* und *A* entsprechen der Problemanalyse, der Schritt *L* der Lösungssuche und die *T*, *E* und *N* der Lösungsumsetzung (Albers et al., 2005). Entlang dem gesamten Problemlösungsprozess werden durch das *Problemlösungsteam (PLT)*, das bei Bedarf anzupassen ist, Ideen im *Kontinuierlichen Ideenspeicher (KIS)* gesammelt und vor jedem Teilschritt ein *Informationscheck (IC)* durchgeführt (Albers, Reiß, Bursac & Breitschuh, 2016). SPALTEN ist dabei ein fraktaler Prozess (Albers, Braun et al., 2010). Das bedeutet, dass sich bei Bedarf die Teilschritte wiederum durch einen SPALTEN-Problemlösungsprozess beschreiben lassen.

Das integrierte Produktentstehungsmodell iPeM

Das iPeM basiert auf dem ZHO-Systemtripel und der zweiten Grundhypothese der Produktentwicklung nach ALBERS (2010), wonach sich ein Produktentwicklungsprozess „als die Überführung eines (anfangs vagen) Zielsystems in ein konkretes Objektsystem durch ein Handlungssystem beschreiben“ (Albers, 2010) zitiert nach (Lohmeyer, 2013, S. 29) lässt. Folglich baut das iPeM in seiner Grundgestalt auf die drei Teilsysteme – Zielsystem, Objektsystem und Handlungssystem – als Eckpfeiler auf, wobei das Handlungssystem wiederum zusätzlich durch die Abbildung des dynamischen Phasenmodells, des Ressourcensystems und der Aktivitätenmatrix detailliert wird (Albers & Braun, 2011b) (vgl. Abbildung 2.16).

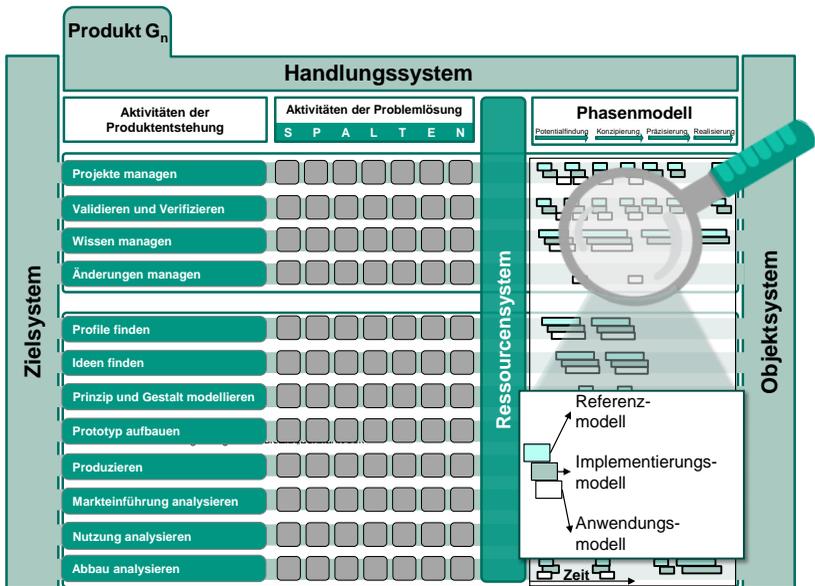


Abbildung 2.16: Integriertes Produktentstehungsmodell (iPeM) mit statischem und dynamischem Teil nach ALBERS, REIß, BURSAC und RICHTER (2016, S. 104); Vergrößerung des Phasenmodells zur Darstellung des Referenz-, Implementierungs- und Anwendungsmodells nach ALBERS, BRAUN et al. (2010)

Die Aktivitätenmatrix, welche die Aktivitäten des Handlungssystems wiedergibt, entsteht dadurch, dass in horizontaler Richtung die Aktivitäten der Problemlösungsmethode SPALTEN (Mikroaktivitäten) aufgetragen werden und in vertikaler Richtung die Aktivitäten der Produktentstehung⁹ (Makroaktivitäten), die sich wiederum in Basisaktivitäten und Kernaktivitäten unterteilen (Albers, Reiß, Bursac & Richter, 2016). Den sich damit in Summe ergebenen 84 Aktivitäten können über die Aktivitätenmatrix Methoden zugeordnet werden (Albers, Reiß, Bursac, Walter & Gladysz, 2015).

⁹ Eine detaillierte Beschreibung der Aktivitäten der Produktentstehung befindet sich im Anhang dieser Arbeit (vgl. Tabelle A.1).

Im dynamischen Teil des iPeMs werden die Aktivitäten entlang einer Zeitachse dargestellt und es entsteht das Phasenmodell, wobei zwischen dem Referenz-, dem Implementierungs- und dem Anwendungsmodell differenziert wird (Albers & Braun, 2011a). Das Referenzmodell fungiert als Vorlage, die auf Basis von Erfahrungen wie beispielsweise Entwicklungsprozessen von vorangegangenen Produktgenerationen gebildet wird (Albers & Braun, 2011a). Das Implementierungsmodell bildet den geplanten Prozess, der in der Entwicklung umgesetzt werden soll. Das Anwendungsmodell bildet den tatsächlichen Verlauf der Produktentwicklung ab, wobei ein kontinuierlicher Abgleich zwischen Implementierungs- und Anwendungsmodell im Entwicklungsprojekt Rückschlüsse über den Projektfortschritt und eine Anpassung des Referenzmodells für künftige Entwicklungsprojekte zulässt (Braun, 2013).

Um die Wechselwirkungen zwischen den Bereichen Entwicklung, Produktion sowie Validierung und auch zwischen verschiedenen Produktgenerationen abbilden zu können, besteht das iPeM aus verschiedenen Layern, die alle gleich aufgebaut sind und die dreidimensionale Gestalt des iPeMs darstellen (Reiß, 2018). Dabei werden folgende Layer unterschieden (Albers, Reiß, Bursac & Richter, 2016):

- **Produkt G_n :** Beschreibt und stellt die Entwicklung des Produkts selbst dar.
- **Produkt G_{n+1} :** Um Wechselwirkungen hinsichtlich der verfügbaren und notwendigen Ressourcen abbilden zu können, wird für jede weitere in der Entwicklung befindliche Produktgeneration ein weiterer Layer eingefügt.
- **Validierungssystem:** Die Entwicklung des Validierungssystems bildet einen eigenen Entwicklungsprozess, da auch dieses selbst beispielsweise validiert oder produziert werden muss.
- **Produktionssystem:** Auch die Entwicklung des Produktionssystems stellt einen eigenen Entwicklungsprozess mit starken Wechselwirkungen zu dem Entwicklungsprozess dar.
- **Strategie:** Um sicherzustellen, dass die einzelnen Produktzielsysteme mit den Unternehmenszielen konsistent sind, wird die Strategie modelliert.

Jeder Layer verfügt über ein eigenes Objektsystem. Diese stehen jedoch untereinander in Austausch und können sich somit gegenseitig gezielt Objekte verfügbar machen. Das Ziel- und das Ressourcensystem hingegen sind über sämtliche Layer durchgängig. Somit können die Ziele übergreifend konsistent modelliert werden und die Ressourcen entsprechend den Zielen übergreifend geplant werden (Albers, Reiß, Bursac & Richter, 2016).

2.1.2.6 VDI 2221 als Anwendungsbeispiel des iPeMs

Ein weiteres Vorgehensmodell wird vom Verein Deutscher Ingenieure (VDI) in der Richtlinie 2221 (VDI 2221) beschrieben, wobei diese 2018 einer grundlegenden Überarbeitung unterzogen wurde, da die bestehende Richtlinie zwar weit verbreitet war, jedoch sowohl in der industriellen Praxis als auch der wissenschaftlichen Literatur kritisiert wurde (u.a. Albers & Wintergerst, 2014; Matthiesen, 2002; Weiß, 2006). So wurde oftmals kritisiert, dass durch das in der Richtlinie beschriebene Vorgehensmodell der aus Entwickler- und damit Wissensarbeitersicht notwendige iterative Charakter der Produktentwicklung nicht adäquat abgebildet wird. So ist zwar das iterative Vor- und Zurückspringen zwischen Entwicklungstätigkeiten berücksichtigt, allerdings nicht ausreichend dargelegt, wie dies zu berücksichtigen ist. Weiter sind Arbeitsschritte und die zugehörigen Entwicklungsergebnisse sequenziell, in Phasen strukturiert, angeordnet (Weiß, 2006).

Um diesen Sachverhalt aufzulösen und den iterativen und individuellen Charakter von unterschiedlichen Produktentwicklungsprozessen abzubilden, erfolgte im Rahmen der Überarbeitung eine stringente Entkopplung der Produktentwicklungsaktivitäten und Phasen (vgl. Abbildung 2.17). Folglich werden in der VDI 2221 generische, unabhängig vom Entwicklungsvorhaben oder der Branche anwendbare, Aktivitäten beschrieben, die in allen Phasen der Produktentstehung angewendet werden können. Des Weiteren werden über den gesamten Entwicklungsprozess hinweg Anforderungen erhoben und bestehende Anforderungen verfeinert. Entsprechend den Anforderungen werden dann geeignete Produktentwicklungsaktivitäten ausgewählt, aus deren Durchführung spezifische Entwicklungsergebnisse hervorgehen. Ein Abgleich der entstandenen Entwicklungsergebnisse mit den dokumentierten Anforderungen, der je nach Prozessschritt bzw. Ergebnis physisch, virtuell oder hybrid durchgeführt wird, führt wiederum zu einer Anpassung der dokumentierten Anforderungen (VDI 2221). Deutlich wird, dass einige Parallelen zum integrierten Produktentstehungsmodell iPeM bestehen, da viele Elemente der Karlsruher Schule für Produktentwicklung (KaSPro) in die Entwicklung der VDI 2221 eingeflossen sind. Entsprechend stellt die VDI 2221 eine Operationalisierung der KaSPro dar.

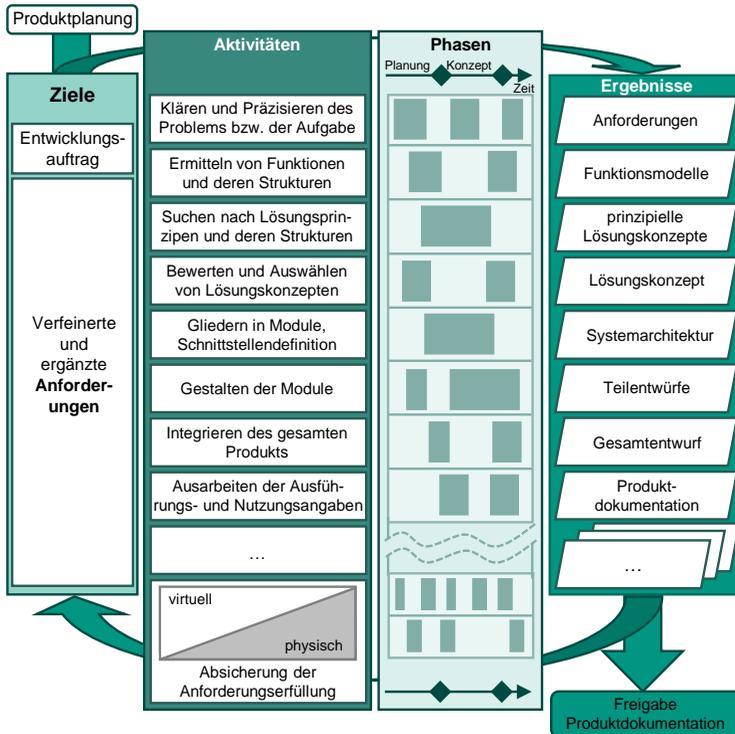


Abbildung 2.17: Modell der Produktentwicklung (VDI 2221, S. 31)

2.1.3 Agile Ansätze der Mechatroniksystementwicklung

Die Einzigartigkeit von Entwicklungsprozessen (Albers, 2010) – insbesondere in Bezug auf die Wissensarbeit – bildet die grundlegende Notwendigkeit der Berücksichtigung von Iterationen, um sowohl die Management- als auch die Entwicklersicht zu berücksichtigen. Agile Ansätze wie der zuvor vorgestellte Scrum-Ansatz (vgl. Abschnitt 2.1.2.4) fördern dieses iterative Vorgehen und damit die notwendigen Freiheitsgrade hinsichtlich der Wissensarbeit. Demzufolge werden nachfolgend agile Ansätze in Bezug zur Mechatroniksystementwicklung näher betrachtet.

Agile Ansätze verfolgen die Zielsetzung, durch ein iteratives Vorgehen schnell Produkte zu entwickeln, und fokussieren dabei das kontinuierliche Schaffen eines Kundenwerts. Um dies zu erreichen, sind agile Ansätze durch die kurzzyklische und kontinuierliche Entwicklung von Produktinkrementen charakterisiert, die wiederum unmittelbar hinsichtlich des geschaffenen Kundenwerts validiert werden. Durch dieses Wechselspiel von Synthese- und Analyseschritten gelingt es, Anforderungen aus Sicht der Kunden zu identifizieren und zu validieren und damit sukzessive Unsicherheiten zu reduzieren (u.a. Albers, Behrendt, Klingler, Reiß & Bursac, 2017; Batra, Xia, van der Meer & Dutta, 2010). Die Leitsätze der agilen Entwicklung werden im Rahmen des agilen Manifests beschrieben (Fowler & Highsmith, 2001):

- Individuen und deren Interaktion sind wichtiger als die Prozesse und Werkzeuge.
- Ein funktionierendes Produkt ist wichtiger als die umfassende Dokumentation.
- Die Zusammenarbeit mit dem Kunden ist wichtiger als Vertragsverhandlungen.
- Das Eingehen auf Änderungen der Anforderungen ist wichtiger als die konsequente Verfolgung eines Plans.

Es gilt anzumerken, dass eine Berücksichtigung ebendieser Prinzipien im Kontext komplexer mechatronischer Systeme nicht anpassungslos möglich ist (Dumitrescu, Albers, Riedel, Stark & Gausemeier, 2021). Die Abgrenzung zwischen agiler und sequenzieller Produktentwicklung kann über das magische Dreieck bestehend aus den prozessspezifischen Stellgrößen Funktionalität, Kosten und Zeit dargestellt werden (vgl. Abbildung 2.18).

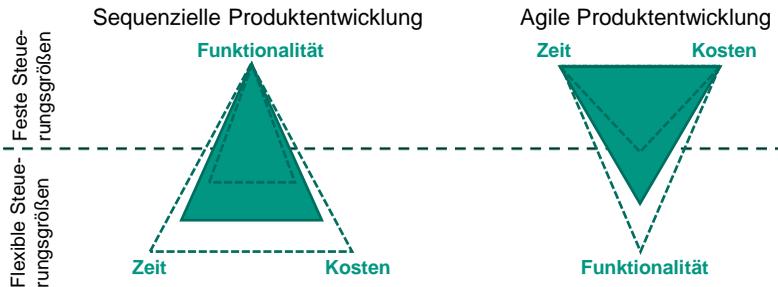


Abbildung 2.18: Magisches Dreieck – Zeit, Kosten und Funktionalität – zur Visualisierung der Unterscheidung sequenzieller und agiler Produktentwicklung. Durch Veränderung der flexiblen Steuerungsgrößen werden verschiedene Zustände möglich, die durch die Dreiecke angedeutet werden; Darstellung nach EBERT (2019, S. 281)

Folglich sind agile Ansätze ebenfalls für die Entwicklung mechatronischer Produkte relevant, da aufgrund der vorherrschenden Komplexität ein Anstieg der vorliegenden Unsicherheit zu beobachten ist (Suh, 1999). Diese Komplexität resultiert aus:

- der hohen Interdisziplinarität der Entwicklung (Albers, Ebel & Alink, 2011; Ehrlen-spiel & Meerkamm, 2013)
- den immer kürzer werdenden Entwicklungszyklen (Song, Herzog & Bender, 2019)
- der zunehmenden Individualisierung der Anforderungen von Kunden und Anwendern und damit auch der Produkte (Cao, Chen, Zhao & Nagahira, 2008)
- der Verschiebung von autarken physischen Produkten zu hybriden Leistungsbündeln mit einem Service-Anteil (Gausemeier & Plass, 2014)
- der steigenden Bedeutung standortverteilter Entwicklung (Duehr et al., 2019)

Allerdings zeigen verschiedene Untersuchungen, dass die anpassungsfreie Implementierung agiler Ansätze, wie beispielsweise Scrum, die im Rahmen der Softwareentwicklung entstanden sind, im Rahmen der Mechatroniksystementwicklung diverse Herausforderungen mit sich bringt (u.a. Engesser, Claus & Schwill, 1989; Heimicke et al., 2019; Heimicke, Spadinger, Xiang & Albers, 2020; Zimmermann, Heimicke, Alink, Dufner & Albers, 2019). So bilden beispielsweise die Rahmenbedingungen der physischen Entwicklung, die sich in der Bereitstellung von physischen oder auch virtuellen Prototypen niederschlägt, eine zentrale Herausforderung (Gabriel, Niewoehner, Asmar, Kühn & Dumitrescu, 2021). Darüber hinaus lassen sich im Zuge von Sprints entwickelte physische Produktinkremente lediglich bedingt zu einem Gesamtprodukt zusammenfügen, da Schnittstellen und architektonische Wechselwirkungen schwierig vorhersehbar sind (u.a. Keating et al., 2003; Schmidt et al., 2019; Zimmermann et al., 2019).

ALBERS, HEIMICKE, SPADINGER, REIß, et al. (2019b) leiten auf Basis empirischer Beobachtungen einen agilen Ansatz, den sogenannten **ASD – Agile Systems Design Ansatz**, ab. Dieser Ansatz mit dem Ziel der Berücksichtigung der Rahmenbedingungen der Mechatroniksystementwicklung und damit sowohl der Entwicklung von Software als auch der Entwicklung physischer Produkte, baut explizit auf dem Modell der PGE – Produktgenerationsentwicklung nach ALBERS (siehe Abschnitt 2.2.1) auf. Dieser agile Ansatz verfolgt jedoch nicht das Ziel, die maximal mögliche Flexibilität in das Vorgehen zu integrieren, sondern diese vielmehr situations- und bedarfsabhängig zu steuern, da im Rahmen der Mechatroniksystementwicklung neben stark unsicherheitsbehafteten Situationen auch wenig komplexe Entwicklungssituationen mit geringen Unsicherheiten vorherrschen können. Im Zuge dieser ist die Eignung stark iterativer Vorgehensmodelle indes stark eingeschränkt. Vielmehr eignen sich hierbei Vorgehensmodelle mit einem hohen Formalisierungsgrad. Dazu leiten sie ein Modell ab, das Produktentwickelnde bei der Steuerung des Maßes an

Flexibilität der vorliegenden Situation und dem zugehörigen Bedarf entsprechend unterstützt (vgl. Abbildung 2.19).

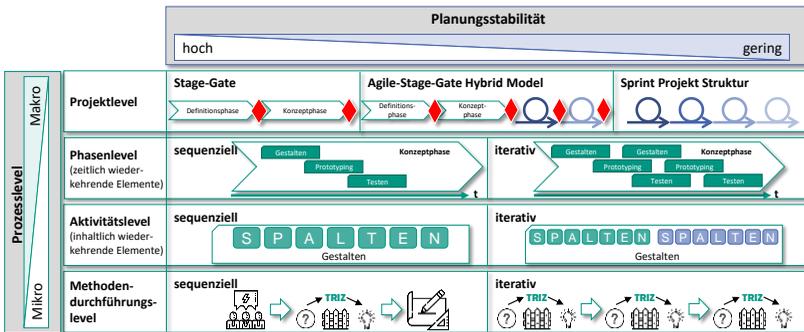


Abbildung 2.19: Beschreibungsmodell zur Ermittlung eines situations- und bedarfs-gerechten Maßes an Flexibilität des ASD-Ansatzes (Albers, Heimicke, Spadinger, Reiß, Breitschuh, Richter, Bursac & Marthaler, 2019b, S. 10)

Das Modell unterscheidet dabei entsprechend Prozesslevel zwischen vier verschiedenen Ebenen, wobei auf sämtlichen Ebenen die Auswahl zwischen iterativen und sequenziellen Entwicklungspraktiken besteht. Die Auswahl wird dabei auf Basis der Planungsstabilität einer Entwicklungssituation durchgeführt, die sich durch die Entropie des sozio-technischen Systems ermitteln lässt und damit die vorliegende Unsicherheit sowie Komplexität wiedergibt (Breitschuh et al., 2018). Diese Entropie wiederum ist insbesondere direkt vom Neuentwicklungsanteil der Produktgeneration abhängig (Albers, Heimicke, Trost & Spadinger, 2020).

Darüber hinaus stellt der ASD-Ansatz neun Grundprinzipien¹⁰ für die Entwicklung mechatronischer Systeme und zugehörige methodische Unterstützung zur Verfügung. Die entsprechenden Grundprinzipien lauten (Albers, Heimicke, Spadinger, Reiß, Breitschuh, Richter, Bursac & Marthaler, 2019a, S. 8–10):

1. Der Mensch steht im Zentrum der Produktentstehung
2. Jeder Produktentstehungsprozess ist einzigartig und individuell

¹⁰ Eine ausführliche Darlegung der ASD-Grundprinzipien findet sich im Anhang der Arbeit (vgl. Tabelle A.2).

3. Agile, situations- und bedarfsgerechte Kombination strukturierender und flexibler Elemente
4. Jedes Prozesselement lässt sich im ZHO-Modell verorten und jede Aktivität basiert auf den Grundoperatoren Analyse und Synthese
5. Alle Aktivitäten der Produktentwicklung sind als Problemlösungsprozess zu verstehen
6. Jedes Produkt wird auf Basis von Referenzen entwickelt
7. Produktprofile, Invention und Markteinführung bilden die notwendigen Bestandteile des Innovationsprozesses
8. Frühe und kontinuierliche Validierung dient dem Abgleich zwischen Problem und dessen Lösung
9. Für eine situations- und bedarfsgerechte Unterstützung in jedem Entwicklungsvorhaben müssen Denkweisen, Methoden und Prozesse skalierbar sein

Zur Operationalisierung der Grundprinzipien schlagen ALBERS, HEIMICKE, TROST et al. (2020) eine Methodik vor, auf deren Basis relevante Einflussfaktoren hinsichtlich der agilen Fähigkeiten der Organisation und entsprechend dem Bedarf sowie der Situation bewertet werden und somit eine Gewichtung der ASD-Grundprinzipien ermittelt wird (Albers, Heimicke, Trost et al., 2020). In einer Untersuchung konnte darauf aufbauend nachgewiesen werden, dass die Umsetzung der entsprechend der Entwicklungssituation relevantesten Prinzipien eine positive Beeinflussung der vorliegenden Entwicklungssituation mit sich bringt (Albers, Heimicke & Trost, 2020).

2.1.4 Zwischenfazit

Produktentwicklungsprozesse sind insbesondere in Bezug auf die Wissensarbeit und demgemäß ebenfalls in Bezug auf das notwendige und verfügbare Wissen sowie die damit verbundenen Unsicherheiten einzigartig und individuell. Dies zeigt die Notwendigkeit für ein iteratives Vorgehen auf, das durch die zeitgleiche Entwicklung von Ziel- und Objektsystem im Rahmen der Produktentwicklung abgebildet wird. Bestehende Prozessmodelle berücksichtigen diese wechselseitige Entwicklung von Zielen und Lösungen partiell jedoch nur unzureichend. So wird die Validierung oftmals als nachgelagerte Phase betrachtet, wohingegen sie gleichwohl Iterationen also ebendieses Wechselspiel durch die Generierung von Wissen fördert, und damit das Innovationspotential eines Entwicklungsvorhabens steigert. Eine Innovation bedarf dabei – neben der Invention und einer erfolgreichen Markteinführung – der in Form des Produktprofils modellierten Bedürfnissituation. Das Produktprofil umfasst das Nutzenbündel bestehend aus Kunden-, Anwender- und Anbieternutzen und bildet einen entscheidenden Bestandteil des initialen Zielsystems, das es im Rahmen des Entwicklungsvorhabens kontinuierlich weiterzuentwickeln gilt.

2.2 Zielsysteme im Modell der PGE – Produktgenerationsentwicklung

Dementsprechend gilt es, das Zielsystem und dessen Entwicklung tiefergehend zu betrachten. Nachfolgend wird die Zielsystementwicklung im Modell der PGE – Produktgenerationsentwicklung nach ALBERS fokussiert.

2.2.1 Modell der PGE – Produktgenerationsentwicklung

Entgegen der weitverbreiteten Auffassung werden neue Produkte nicht auf einem weißen Blatt Papier entwickelt, sondern vielmehr auf Basis von Referenzen. So bilden bei der Entwicklung neuer technischer Systeme bereits bestehende Systeme und damit verknüpftes Wissen die Grundlage und den Ausgangspunkt der Entwicklung. Dies beschreiben ALBERS, BURSAC et al. (2015) durch das Modell der PGE – Produktgenerationsentwicklung, das folgendermaßen definiert wird:

Produktgenerationsentwicklung¹¹:

Die Produktgenerationsentwicklung beschreibt „die Entwicklung technischer Produkte [...], die sowohl durch die Anpassung von Teilsystemen als Übernahmevariation (ÜV) als auch 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 Gestaltvariation (GV) als auch durch die [...] Aktivität Prinzipvariation (PV) [...] erfolgen. Neue Produktgenerationen basieren immer auf [Referenzen].“

Somit wird im Modell der PGE die Entwicklung neuer Produkte, unabhängig davon, ob es sich um ein neues technisches System, Produkt oder eine Variante (Peglow, Powelske, Birk, Albers & Bursac, 2017) handelt, auf Basis von 2 Grundhypothesen (Albers, Bursac et al., 2015; Albers, Rapp et al., 2019) beschrieben:

1. Jede Entwicklung basiert auf Referenzen, die zusammen das sogenannte Referenzsystem bilden.
2. Die Entwicklung von Teilsystemen eines neuen Systems wird davon ausgehend durch die Aktivitäten Übernahme-, Gestalt- bzw. Ausprägungs- und Prinzipvariation abgebildet.

¹¹ (Albers, Bursac et al., 2015, S. 4).

Demnach kann das Modell der PGE als „Abbildung eines Referenzsystems auf eine jeweils neue Produktgeneration“ (Albers in Marthaler, 2021) verstanden werden, wobei die Variationsarten die notwendigen Abbildungsoperatoren darstellen. Dieser Zusammenhang wird in Abbildung 2.20 schematisch skizziert.

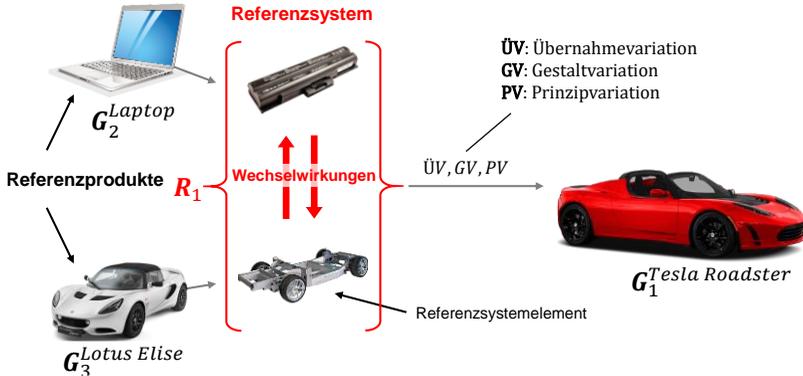


Abbildung 2.20: Darstellung eines Auszugs des Referenzsystems der ersten Produktgeneration G_1 des Tesla Roadsters. Dabei bezeichnet R_1 das Referenzsystem der G_1 des Tesla Roadsters; das Referenzsystem inkludiert beispielsweise den Akku eines Laptops der Generation G_2 (Albers, Rapp et al., 2019, S. 1700)

Eine Produktgeneration wird im Modell der PGE mit $G_i^{k,u,a,p,v}$ bezeichnet. Wobei der Index i , eine ganzzahlige natürliche Zahl, der Bezeichner der Generation ist (Albers, Fahl et al., 2020). Die anderen Variablen informieren detailliert hinsichtlich der betrachteten Produktgeneration, sind jedoch optional zu betrachten und variieren entsprechend der Sichtweise auf das Produkt. Das Datenformat ist jeweils vom Typ string. Der anvisierte Kunde wird durch $k \in \{k_1, \dots, k_h\}$ wiedergegeben, $u \in \{u_1, \dots, u_l\}$ und $a \in \{a_1, \dots, a_m\}$ sind die entsprechenden Anwender, $p \in \{p_1, \dots, p_q\}$ beinhaltet die Information bezüglich der Produktlinie und $v \in \{v_1, \dots, v_r\}$ die entsprechende Variante. Dabei sind die Indizes $h, l, m, q, r \in \mathbb{N}$ (Albers, Fahl et al., 2020).

Die Bezeichnung G_{n-1} beschreibt dabei die aktuelle, im Markt bereits verfügbare Produktgeneration und G_n die Produktgeneration, die sich aktuell noch in der Entwicklung befindet und als nächstes im Markt eingeführt wird. Produktgeneration 1 oder G_1 bezeichnet eine Produktgeneration, bei der kein direkter Vorgänger existiert

(Albers, Fahl et al., 2020). In der industriellen Praxis lässt sich oftmals keine trennscharfe Identifikation einer Produktgeneration 1 (G_1) durchführen. Die Ausprägung einer Produktgeneration 1 ist vielmehr entitätsabhängig. Dennoch ist eine prospektive Analyse dahingehend unabdingbar, da die Entwicklung einer Produktgeneration 1 Herausforderungen mit sich bringt (Albers, Ebertz, Rapp, Heimicke, Kürten, Zimmermann et al., 2020). So bildet bei der Entwicklung einer Produktgeneration G_n die Vorgängerproduktgeneration G_{n-1} einen zentralen Bestandteil des Referenzsystems. Bei der Entwicklung einer Produktgeneration 1 besteht jedoch keine Vorgängergeneration und ist damit nicht als Referenzsystemelement verfügbar. Neben der Vorgängerproduktgeneration gibt es jedoch weitere relevante Referenzen. So enthält ein Referenzsystem Referenzsystemelemente, die bereits im Unternehmen verfügbar sind, die in anderen Unternehmen derselben Branche verfügbar sind, aber auch Referenzsystemelemente von Unternehmen anderer Branchen oder aus der Forschung (Albers, Rapp et al., 2019). Folglich existiert für eine Produktgeneration G_1 gleichfalls ein Referenzsystem (Albers, Ebertz et al., 2020).

Die Eigenschaften der Referenzsystemelemente üben großen Einfluss auf das Entwicklungsrisiko für eine Produktgeneration aus. So ist insbesondere die Herkunft eines Referenzsystemelements entscheidend für das vorliegende Risiko (Albers, Rapp et al., 2019). Insbesondere Referenzsystemelemente, die lediglich außerhalb des eigenen Unternehmens verfügbar sind, stellen Risiken für den Erfolg einer Produktentwicklung dar (Albers, Haug et al., 2016; Albers, Rapp et al., 2017). Dafür liegen primär zwei Gründe vor. Einerseits ist es darauf zurückzuführen, dass im Rahmen intern verfügbarer Referenzsystemelemente deutlich mehr Dokumentation verfügbar ist, die die Umsetzung, die Integration in ein System oder ähnliches beschreibt. Zusätzlich ist deutlich mehr Wissen verfügbar, als dies beispielsweise bei lediglich extern verfügbaren Referenzsystemelementen der Fall wäre. Von Relevanz ist dies insbesondere, wenn das Referenzsystemelement sogar im selben Entwicklungsteam betrachtet wird wie zuvor. Andererseits ist folglich im Kontext intern verfügbarer Referenzsystemelemente auch die Fähigkeit, Schlüsselaspekte hinsichtlich der Funktionen der Referenzsystemelemente zu verstehen, stärker ausgeprägt und somit werden Referenzsystemelemente aus dem eigenen Bereich und deren Zusammenspiel schlicht besser verstanden (Albers, Rapp et al., 2019). Allerdings können Referenzsystemelemente, die lediglich außerhalb des Unternehmens verfügbar sind, das Innovationspotential einer Produktgeneration steigern (Marthaler et al., 2019; Marthaler, 2021).

Nicht nur die Eigenschaften der Referenzsystemelemente, wie z.B. deren Ursprung, sondern auch die Art, wie diese in die Produktgeneration G_n überführt werden, bilden

bei der Entwicklung einer neuen Produktgeneration einen Ursprung für Risiken (Albers, Bursac et al., 2015). Dabei werden grundlegend drei Variationsarten unterschieden (Albers, Bursac et al., 2015; Albers, Rapp et al., 2020):

- Bei der **Übernahmevariation** wird das Referenzelement in die neue Produktgeneration ohne Anpassungen übernommen. Es werden lediglich für die Systemintegration notwendige Änderungen an den Schnittstellen des Referenzelements vorgenommen.
- Im Zuge der **Ausprägungsvariation/ Gestaltvariation** wird die Ausprägung des Referenzelements angepasst, um die Entwicklungsziele zu erreichen. Dabei bleibt das Lösungsprinzip des Referenzelements indes unberührt.
- Die **Prinzipvariation** beschreibt die Verwendung eines alternativen Lösungsprinzips. Im Falle der Prinzipvariation muss stets eine Ausprägungsvariation vorgenommen werden, da die Komponenten oder Verbindungsstrukturen gestaltet werden müssen.

Es ist ersichtlich, dass das Risiko, das bei der Entwicklung einer neuen Produktgeneration vorliegt, immer mit der gewählten Variationsart einhergeht. Ausprägungs- und Prinzipvariation führen immer mehr Risiken mit sich als Übernahmevariation. Wenn sich allerdings die Randbedingungen verändern, kann auch eine Übernahmevariation ein Risiko mit sich bringen (Albers, Rapp et al., 2017).

Bei der Planung und Durchführung von Entwicklungsprojekten ist es von entscheidender Bedeutung, die Zusammenhänge der Variationsarten bei der Entwicklung einer neuen Produktgeneration zu kennen. Diese lassen sich über die Anteile der Variationsarten zur Entwicklung der Produktgeneration darstellen, die mathematisch über die Zusammenhänge der Mengenlehre bestimmt werden können. Der Neuentwicklungsanteil einer Produktgeneration G_n setzt sich aus den Anteilen der Ausprägungs- und Prinzipvariation zusammen und wird folglich durch die Summe der beiden Anteile bestimmt (Albers, Bursac et al., 2015). Dabei ist der Neuentwicklungsanteil ein wichtiger Indikator bei der Planung von Entwicklungsprojekten und gibt Aufschluss hinsichtlich des vorliegenden Risikos (Albers, Bursac et al., 2015; Albers, Bursac et al., 2016).

In der Literatur wird stetig die Relevanz von Entscheidungen, die zu einem frühen Zeitpunkt im Entwicklungsprozess getroffen werden, betont (Cooper & Kleinschmidt, 1993). So werden zu diesem Zeitpunkt die Qualität, die Kosten und die Entwicklungszeit zu einem Großteil bestimmt, wenn auch ein Großteil der anfallenden Kosten erst zu einem späteren Zeitpunkt realisiert wird (Reinhart, Lindemann & Heinzl, 1996). ALBERS, RAPP et al. (2017) folgern demgemäß den weitreichenden Einfluss,

den Entscheidungen in dieser frühen Phase mit sich bringen. Diese frühe Phase ist dabei unter anderem durch ein hohes Maß der vorliegenden Unsicherheit, das häufig zu falschen Annahmen führt, die den weiteren Entwicklungsprozess beeinflussen (Muschik, 2011), die geringe Strukturierung und Formalisierung, geringe Unterstützung durch Top-Management, geringer Ressourceneinsatz und -verfügbarkeit sowie unklare Schnittstellen zwischen Aufgaben und Funktionsbereichen gekennzeichnet (Verworn & Herstatt, 2007).

ALBERS, RAPP et al. (2017) leiten auf Basis des Modells der PGE eine Definition der Frühen Phase ab, die eine eindeutige zeitliche Abgrenzung vornimmt und Kriterien zur Bewertung am Ende dieser Frühen Phase beinhaltet. Die Frühe Phase im Modell der PGE wird dabei wie folgt definiert:

Die Frühe Phase der Produktgenerationsentwicklung¹²:

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

Dementsprechend stellen ALBERS, RAPP et al. (2017) insbesondere die Potentiale des Modells PGE hinsichtlich der Bewertung des initialen Zielsystems heraus. So ist es in der Frühen Phase zielführend, die Beurteilung des Entwicklungsrisikos mittels Prototypen mit hohem Übernahmevariationsanteil durchzuführen.

2.2.2 Zielsysteme in der Produktentwicklung

Nach ALBERS et al. (2012) können – besonders bei der Entwicklung komplexer Produkte – Ziele nicht unabhängig voneinander betrachtet werden. Vielmehr gilt es, sowohl die inhaltlichen Wechselwirkungen zwischen Zielen als auch die relative Wertigkeit zueinander zu betrachten. Dementsprechend bilden Ziele eine systemische, sich dynamisch verändernde Struktur: **Das Zielsystem**.

¹² (Albers, Rapp et al., 2017, S. 4).

Das Zielsystem umfasst sämtliche relevanten Ziele, deren Randbedingungen, Abhängigkeiten und Wechselwirkungen. Ferner inkludiert es die zur Realisierung notwendigen Informationen, wohingegen physische Objekte kein Bestandteil des Zielsystems sind. Entsprechend stellt es einen Speicher der Erkenntnisse und Planung der Produktentstehung dar. Die Elemente des Zielsystems müssen nachvollziehbar und begründet sein. Das zu Beginn der Produktentstehung vage Zielsystem wird durch das Handlungssystem kontinuierlich erweitert sowie konkretisiert und muss bei identifizierten Inkonsistenzen angepasst werden. Dabei ist die Entwicklung des Zielsystems ein wichtiger Bestandteil der Entwicklungstätigkeit (Meboldt, 2009). ALBERS und BRAUN (2011a) definieren das Zielsystem wie folgt:

Zielsystem¹³:
„Das Zielsystem umfasst die mentale Vorstellung der geplanten Eigenschaften eines Produkts und alle dafür notwendigen Restriktionen, deren Abhängigkeiten und Randbedingungen. Die Ziele beschreiben dabei den gewünschten zukünftigen Zustand des Produkts (und seiner Komponenten) und dessen Kontext, nicht jedoch die Lösung als solche. Das Zielsystem wird im Verlauf des Produktentstehungsprozesses fortwährend erweitert und konkretisiert.“

LOHMEYER (2013, S. 65) ergänzt dieser Definition, dass ein Zielsystem immer „innerhalb eines definierten Interessensbereichs (System-of-Interest)“ und „zu einem bestimmten Zeitpunkt“ zu betrachten ist, wobei durch ein Konnektor eine Verbindung zur Umgebung des Interessensbereichs besteht (vgl. Abbildung 2.21).

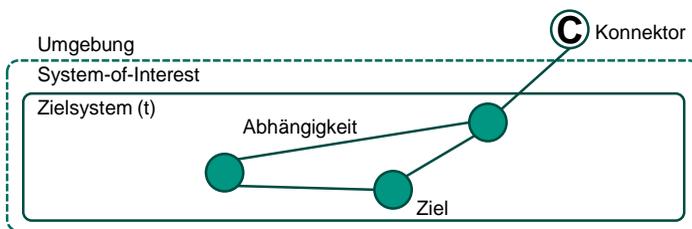


Abbildung 2.21: Darstellung der Charakteristika von Zielsystemen (Albers et al., 2012); Darstellung nach LOHMEYER (2013, S. 65)

¹³ (Albers & Braun, 2011a, S. 16).

Der Ursprung des Begriffs Zielsystem entstammt der Systemtechnik und wurde insbesondere durch die Arbeiten von ZANGEMEISTER (1972), ROPHOL (1975) und PATZAK (1982) geprägt, die primär die Hierarchie und die Relationen der Ziele zueinander betrachteten. Nach BADER (2007, S. 19–21) ist es nicht ausreichend, das Augenmerk auf die Produktziele zu legen, die zwar eine zentrale Rolle in der Produktentwicklung übernehmen, jedoch mit weiteren Zielen interagieren (vgl. Abbildung 2.22).

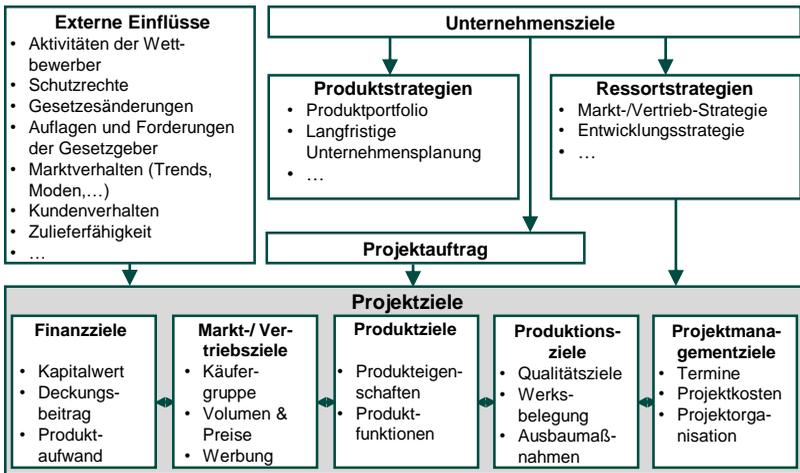


Abbildung 2.22: Darstellung der zu berücksichtigenden Aspekte eines Zielsystems eines Entwicklungsprojekts (Bader, 2007, S. 20)

Dabei stehen über allen untergeordneten Mengen an Zielen die Unternehmensziele, welche die Zielsetzung auf Unternehmensebene umfassen. Hierunter fallen beispielsweise Ziele, die den angestrebten Unternehmensgewinn betreffen. Auf Basis dieser Unternehmensziele wiederum lassen sich Strategien für die verschiedenen Ressorts und Produkte ableiten. Projektaufträge, die sich aus der Produktstrategie und unter Berücksichtigung der Unternehmensziele ableiten lassen, bilden gemeinsam mit den Ressortstrategien die Basis für Projektziele, die sich entsprechend in Finanzziele, Markt/Vertriebsziele, Produktziele, Produktionsziele und Projektmanagementziele untergliedern lassen. Neben den aus den Unternehmenszielen abgeleiteten Einflüssen auf die Projektziele gilt es ebenfalls, externe Einflüsse auf das

Projektzielsystem zu berücksichtigen. So nimmt beispielsweise die aktuelle Schutzrechtlage einen Einfluss auf das Zielsystem. Nach ALBERS und BRAUN (2011a) sind diese Einflüsse aus dem Umfeld der Entwicklung ebenfalls Elemente des Zielsystems, sogenannte Randbedingungen. Diese können zwar nicht definiert oder geändert werden, aber die aus ihnen resultierenden Einschränkungen müssen bei der Entwicklung berücksichtigt werden.

Nach EILETZ (1999) müssen Zielsysteme bzw. die entsprechenden Elemente sowohl durchgängig als auch kompatibel sein, um im Rahmen der Produktentwicklung operationalisierbar zu sein, da die Ziele von verschiedenen Abteilungen der Organisation umgesetzt werden (vgl. Abbildung 2.23).

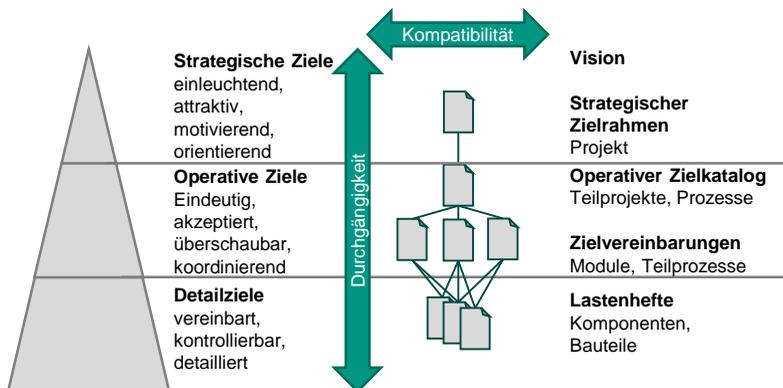


Abbildung 2.23: Darstellung der Durchgängigkeit und Kompatibilität von Zielsystemen (Eiletz, 1999, S. 61)

Die Durchgängigkeit beschreibt, dass Detailziele der Ausrichtung der strategischen Ziele bzw. sämtlicher übergeordneter Ziele entsprechen. Die Gewährleistung der Kompatibilität ermöglicht, dass beim Trennen von Zielen die Kumulierung der Ergebnisse mit dem gewünschten SOLL-Zustand übereinstimmt und die Verbindlichkeit der Ziele somit erfüllt wird.

Hinsichtlich der Gewährleistung der Durchgängigkeit und Kompatibilität gilt es den systemischen Charakter des Zielsystems zu berücksichtigen. Nach ROPOHL (2009, 75-78) bestehen drei verschiedene Systemkonzepte – funktionales, struktureles

und hierarchisches Systemkonzept –, die sich nicht ausschließen. Der Systembegriff umfasst vielmehr alle drei Aspekte. Entsprechend definiert ROPOHL ein System durch die Verknüpfung der drei Aspekte als: „das Modell einer Ganzheit, die (a) Beziehungen zwischen Attributen (Inputs, Outputs, Zustände etc.) aufweist, die (b) aus miteinander verknüpften Teilen bzw. Subsystemen besteht, und die (c) von ihrer Umgebung bzw. von einem Supersystem abgegrenzt wird¹⁴“ (Ropohl, 2009, S. 77).

Darauf aufbauend schlägt GEBAUER (2001) eine Semantik zur Abbildung der Vernetzung von Zielen vor, im Rahmen derer zwischen hierarchischen und nicht-hierarchischen Beziehungen differenziert wird (vgl. Abbildung 2.24).

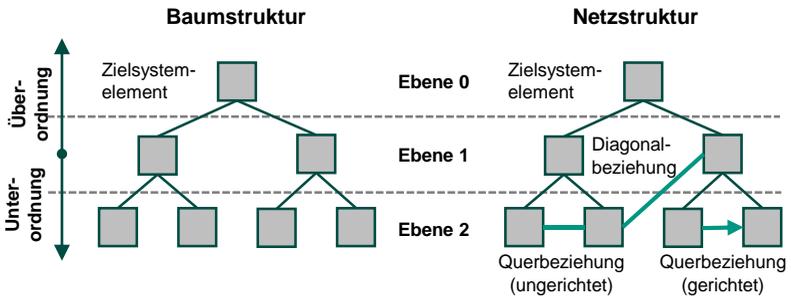


Abbildung 2.24: Strukturen von Zielsystemen; links: ausschließliche Betrachtung hierarchischer Beziehungen: Baumstruktur; rechts: ausschließliche Betrachtung nicht hierarchischer Beziehungen: Netzstruktur; Darstellung nach GEBAUER (2001, S. 48)

Wird ein Zielsystem ausschließlich durch hierarchische Beziehungen aufgebaut, ergibt sich eine Baumstruktur. Hierbei kann zwischen Bestands- und Abstraktionsbeziehungen differenziert werden. Die ausschließliche Vernetzung von Zielsystemelementen mit nicht-hierarchischen Beziehungen ergibt eine Netzstruktur. Zu differenzieren gilt es wiederum ungerichtete Beziehungen (zwei Zielsystemelemente beeinflussen sich gegenseitig), und gerichtete Beziehungen (ein Zielsystemelement beeinflusst ein anderes). Überdies besteht die Möglichkeit, dass diese nicht-hierarchischen Beziehungen auch über verschiedene Ebenen hinweg bestehen – sogenannte Diagonalbeziehungen. KRUSE (1996) differenziert diesbezüglich zwischen Strukturbeziehungen, mit deren Hilfe sich eine Hierarchie im Zielsystem darstellen

¹⁴ (a) definiert Funktion; (b) die Struktur und (c) die Hierarchie eines Systems.

lässt und Semantikbeziehungen, die Wirkung einzelner Elemente zueinander beschreiben.

Zur ganzheitlichen Beschreibung von Produkten werden in der Literatur verschiedene Ansätze zur Strukturierung von Zielsystemen in Form von Partialmodellen diskutiert, die das Produkt auf verschiedenen Systemebenen beschreiben (u.a. Frank, 2006; Stechert, 2010). Auch EBEL (2015) schlägt zur Modellierung von Zielsystemen die Nutzung von Partialmodellen vor. Nach ALBERS, EBEL UND SAUTER (2010) ist dabei die ganzheitliche und durchgängige Modellierung von Zielsystemen auf Basis von Partialmodellen relevant. So müssen ebenso Partialmodelle bestehen, die nicht primär dem Zielsystem, sondern vielmehr dem Objekt- oder Handlungssystem zuzuordnen sind, um sämtliche Ziele, Randbedingungen, deren Wechselwirkungen und Begründungen abzubilden. EBEL (2015) folgert auf dieser Basis neun Partialmodelle, die alle drei Systeme des ZHO-Systemtripels abdecken:

- Partialmodell Ziele
- Partialmodell Anforderungen
- Partialmodell Anwendungsfälle
- Partialmodell Funktionen
- Partialmodell Gestalt/Implementation
- Partialmodell Phasen und Produktentstehungsaktivitäten
- Partialmodell Meilensteine und Deliverables
- Partialmodell Stakeholder
- Partialmodell Tests

Des Weiteren leitet EBEL (2015, S. 157) auf Basis empirischer Untersuchungen Elementtypen ab, die zur Modellierung des Zielsystems notwendig sind, um die Inhalte der Partialmodelle abzubilden. Dabei besteht keine eindeutige Zuordnung der Elementtypen zu den Partialmodellen, vielmehr werden sämtliche Elementtypen zur Modellierung jeglicher Partialmodelle verwendet. Dies bietet den Vorteil, dass mit einfachen Modellierungsregeln eine flexible Modellierung des Zielsystems mit einer ausreichenden Berücksichtigung der notwendigen Dynamik möglich wird. Die dazu notwendigen Elementtypen sind: Ziel, Anforderung, Anwendungsfall, Funktion, Gestalt / Implementation, Phase / Aktivität, Meilenstein, Deliverable, Stakeholder, Test, Entscheidung, Begründung, Dokument / Information und Schnittstelle.

2.2.2.1 Elemente des Zielsystems: Ziel, Anforderung, Randbedingung

Die zentralen Elemente des Zielsystems sind Ziele, Anforderungen und Randbedingungen, die vorrangig die Ausrichtung des zu entwickelnden Produkts beschreiben. Dabei ist nach OERDING (2009) keine trennscharfe Unterteilung zwischen Zielen und

Anforderungen möglich. Das *Institute of Electrical and Electronics Engineers* (610.12-1990) definiert eine Anforderung als¹⁵:

1. Eine Bedingung oder Fähigkeit, die ein Nutzer benötigt, um ein Problem zu lösen, oder ein Ziel zu erreichen
2. Eine Bedingung oder Fähigkeit, die ein System oder eine Systemkomponente erfüllen oder besitzen muss, um einen Vertrag, Standard, Spezifikation oder ein anderes formales Dokument zu erfüllen
3. Eine dokumentierte Repräsentation einer Bedingung oder Fähigkeit gemäß 1 oder 2

Die VDI 2221 (VDI 2221) folgt dieser Auffassung und definiert eine Anforderung in Anlehnung an die DIN 69901-5 (DIN 69901-5:2009-01) als „Beschaffenheit, Fähigkeit oder Leistung, die ein Produkt, Prozess oder die am Prozess beteiligte Person erfüllen oder besitzen muss, um einen Vertrag, eine Norm, eine Spezifikation oder andere formell vorgegebene Dokumente zu erfüllen“. In diesem Zusammenhang wird hinsichtlich Anforderungen oftmals zwischen funktionalen Anforderungen, nicht-funktionalen Anforderungen und Rahmenbedingungen differenziert (u.a. Robertson & Robertson, 2011), wohingegen POHL (2007) vorgeschlägt nicht-funktionale Anforderungen mit dem Begriff der Qualitätsanforderungen zu beschreiben. Seiner Auffassung nach suggeriert der Begriff nicht-funktionale Anforderung unzureichend definierte Anforderungen, da sämtliche funktionalen Anforderungen das Verhalten des Systems beschreiben, wohingegen Qualitätsanforderungen die Ausprägung der Qualität dieses Verhaltens darlegen.

Ferner beschreibt POHL (2007, S. 89) den positiven Effekt, den die Berücksichtigung von Zielen hinsichtlich des Umgangs mit Anforderungen hat:

- Besseres Systemverständnis
- Gewinnung von Anforderungen
- Identifikation und Bewertung von Lösungsalternativen
- Aufdecken irrelevanter Anforderungen
- Vollständigkeit der Anforderungen
- Identifikation und Auflösung von Konflikten
- Stabilität von Zielen

¹⁵ IEEE Standard Glossary of Software Engineering Terminology, S. 60, eigene Übersetzung.

Dabei definiert POHL (2007) ein Ziel als die Beschreibung eines charakteristischen Merkmals des Systems, das entwickelt wird, bzw. des zugehörigen Entwicklungsprozesses, den die Vision als die Grundlage der Entwicklung des Systems detailliert (Pohl, 2007, S. 91). Nach EBERT (2014, S. 163) beschreiben Ziele den SOLL-Zustand des zu entwickelnden Produkts. Allerdings muss dieser nicht erreichbar sein, sondern kann lediglich eine Tendenz darstellen. Auch nach EHRENSPIEL (2009) und EILETZ (1999) sind Ziele eine SOLL-Vorstellung. Während EHRENSPIEL (2009, S. 90) dahingehend betont, dass diese durch den Auftraggeber definiert werden sollen, fordert EILETZ (1999, S. 8–10) die gemeinsame Definition und Vereinbarung dieser SOLL-Zustände und stellt dar, dass zwischen Zielen, die durch Handeln erreicht und die durch Handeln vermieden werden sollen, unterschieden werden muss.

Im Rahmen der agilen Produktentwicklung wird der SOLL-Zustand des Systems oftmals in Form von User-Stories beschrieben (u.a. Kassab, 2015; Wang, Zhao, Wang & Sun, 2014). Dabei besteht keine einheitliche Aussage über die Inhalte oder die Form, die eine User-Story aufweisen soll. Der Grundgedanke einer User-Story ist, aus Kunden- und Anwendersicht einen SOLL-Zustand zu definieren, also zu beschreiben was das System können oder tun soll, um diesen einen Nutzen zu bieten (Beck, 2003; Cohn, 2013). Dabei wird bei der Formulierung von User-Stories vornehmlich auf die drei Grundbausteine *für wen*, *was* und *warum* zurückgegriffen. Der weitverbreitetste Typ von User-Stories, das Connextra-Format, bildet – bestehend aus den drei Grundbausteinen – die Satzschablone: „Als [Rolle] möchte ich [Ziel], um [Nutzen] zu erreichen“ (Lucassen, Dalpiaz, van der Werf & Brinkkemper, 2016, S. 205, eigene Übersetzung). Häufig werden noch Elemente wie Anwendungsfälle oder Akzeptanzkriterien auf der sogenannten Story-Card, auf der die User-Story notiert wird, aufgenommen (Cohn, 2013) (vgl. Abbildung 2.25).

Prio.	Titel der Story	Aufwand	
	Als [Rolle] möchte ich [Ziel], um [Nutzen] zu erreichen.		Akzeptanzkriterien: 1. ... 2. ... 3. ...

Abbildung 2.25: Story-Card als Darstellung einer User-Story im Connextra-Format; eigene Darstellung nach (SolutionsIQ, 2015)

Nach LINDEMANN (2009, S. 95) liegt in der Produktentwicklung eine Vielzahl an Entwicklungszielen wie beispielsweise Termine etc. vor. Belaufen sich die Ziele jedoch auf das in der Entwicklung befindliche Produkt, spricht LINDEMANN von Anforderungen. Auch CROSS (2008, S. 77 & 105-106) differenziert zwischen Zielen und Anforderungen. Nach seiner Ansicht spiegeln Ziele eine Bedarfssituation wider, die durch das zu entwickelnde Produkt adressiert wird. Anforderungen beschreiben hingegen vielmehr, was das zu entwickelnde Produkt konkret können soll. Auch ALBERS, KLINGLER und EBEL (2013) unterstreichen diese Durchgängigkeit von Zielen und Anforderungen und betonen dabei die Möglichkeit, Anforderungen aus Zielen und Randbedingungen abzuleiten. ROBERTSON und ROBERTSON (2011, S. 10) greifen den Begriff der Randbedingungen ebenfalls auf, die nach ihrer Ansicht übergeordnete Anforderungen und Restriktionen darstellen. POHL (2007, S. 15–17), der diese Elemente als Rahmenbedingungen betitelt, folgt dieser Auffassung. Zusätzlich ergänzt er, dass Rahmenbedingungen durch die am Projekt beteiligten Personen nicht oder nur mit großem Aufwand beeinflusst werden können, allerdings das zu entwickelnde System oder den zugehörigen Prozess einschränken. Auch CLARKSON und ECKERT (2005) beschreiben das Ziel der Produktentwicklung als das Erreichen von Zielen und Anforderungen, wobei jedoch dieses bzw. der zugehörige Handlungsspielraum durch Randbedingungen wie Termin-, Kosten oder Qualitätsvorgaben eingeschränkt wird. MUSCHIK (2011) unterteilt diesbezüglich zwischen exogenen Randbedingungen – Randbedingungen durch das Entwicklungsumfeld (z.B. Politik, Umwelt) und durch das Marktumfeld (z.B. Kunde, Wettbewerb) und endogenen Randbedingungen – Randbedingungen des eigenen Unternehmens (z.B. Unternehmensstrategie).

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit werden, ausgehend von den zuvor dargelegten Sichtweisen, die Begriffe Ziel, Anforderung und Randbedingung entsprechend der folgenden Definitionen verwendet. Zur Verkürzung wird im Kontext der vorliegenden Arbeit zuweilen der Begriff Zielsystemelement (ZSE) genutzt, wobei dieser alle drei der dargelegten Elementtypen – Ziel, Anforderung, Randbedingung – umfasst.

Ziel¹⁶:

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

¹⁶ (Lohmeyer, 2013, S. 61).

Anforderung¹⁷:

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

Randbedingung¹⁸:

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

Das Zusammenspiel der verschiedenen Elementtypen, bei dem insbesondere herauszustellen ist, dass nach ALBERS et al. (2013) durch Ziele und Randbedingungen neue Anforderungen ableitbar sind, ist in Abbildung 2.26 dargestellt.



Abbildung 2.26: Abgrenzung und Zusammenspiel der Zielsystemelemente Ziel, Anforderung und Randbedingung (Ebel, 2015, S. 67)

Dabei ist allerdings zu erwähnen, dass der eigentliche Zielbildungsprozess keinen sequenziellen Prozess darstellt, in dessen Rahmen Anforderungen unter Berücksichtigung von Randbedingungen aus Zielen abgeleitet werden können, da, aufgrund der Wechselwirkungen, kein stringentes Ableiten der Anforderungen bzw. der zugehörigen Lösungen aus den Zielen möglich ist (Darlington & Culley, 2002).

¹⁷ (Lohmeyer, 2013, S. 61)

¹⁸ (Lohmeyer, 2013, S. 61).

2.2.2.2 Zielsystementwicklung und Anforderungsmanagement

Nachfolgend wird die Entwicklung von Zielsystemen fokussiert. Zunächst wird der Stand der Forschung hinsichtlich des Anforderungsmanagements erörtert, bevor die Entwicklung von Zielsystemen im Modell der PGE thematisiert wird. In der Literatur werden unter den Begriffen *Requirements Engineering*, *Requirements Management* und *Requirements Development* ganzheitliche Ansätze zum Umgang mit Anforderungen in der Produktentwicklung diskutiert. Dabei existiert keine einheitliche Begriffsdefinition bzw. Abgrenzung der Begriffe zueinander, die Begriffe werden vielmehr zu Teilen synonym genutzt. LEFFINGWELL und WIDRIG (2000) definieren:

Requirements Management¹⁹:

Das *Requirements Management* ist ein „systematischer Ansatz zur Ermittlung, Organisation und Dokumentation der Anforderungen an das System sowie ein Prozess, der eine Vereinbarung zwischen dem Kunden und dem Projektteam über die sich ändernden Anforderungen an das System herstellt und aufrechterhält.“

Somit beschreiben die Autoren mit dem *Requirements Management* einen ganzheitlichen Ansatz zur Ermittlung, Dokumentation und Organisation von Anforderungen, der zusätzlich die Abstimmung respektive den Prozess zur Abstimmung zwischen Kunde und Entwickelndem hinsichtlich der Anforderungen und deren Änderungen umfasst. Damit unterscheidet sich das Verständnis beispielsweise von dem Verständnis von HOOD, FICHTINGER, PAUTZ und WIEDEMANN (2008), die unter dem Begriff des *Requirements Management* lediglich das Verwalten und Organisieren versteht. Zusätzlich führen HOOD et al. (2008) die Begriffe des *Requirements Engineerings* und des *Requirements Developments* ein, die sie dabei als gegenseitig austauschbare Synonyme verwenden. Unter diesen Begriffen verstehen sie primär die Aktivitäten: Erzeugen und Analysieren von Kunden-, Produkt- und Produktkomponentenanforderungen. Dabei erachten sie das *Requirements Management* als eine sich anschließende verwaltende Aktivität. Auch WIEGERS und BEATTY (2013) greifen dieses Verständnis hinsichtlich des verwaltenden Charakters des *Requirements Managements* auf, betrachten jedoch das *Requirements Development* und das *Requirements Engineering* nicht als synonym anzuwendende Begriffe. Vielmehr sehen sie das *Requirements Engineering* als den Überbegriff, der sowohl das *Requirements Management* und das *Requirements Developments* umfasst. Auch

¹⁹ (Leffingwell & Widrig, 2000, S. 25), eigene Übersetzung.

EBERT (2014), POHL (2007) und RUPP (2009) verstehen das *Requirements Management* mit seinem verwaltenden Charakter als Teil des *Requirements Engineering*. Allerdings verzichten sie in ihren Modellen auf das *Requirements Development*.

Nach POHL (2007) umfasst das *Requirements Engineering* neben den Kernaktivitäten Gewinnung, Dokumentation und Übereinstimmung, die sich in einem Wechsel-feld gegenseitiger Beeinflussung befinden, ebenfalls die beiden Querschnittsfunktionen Validierung und Management (vgl. Abbildung 2.27).

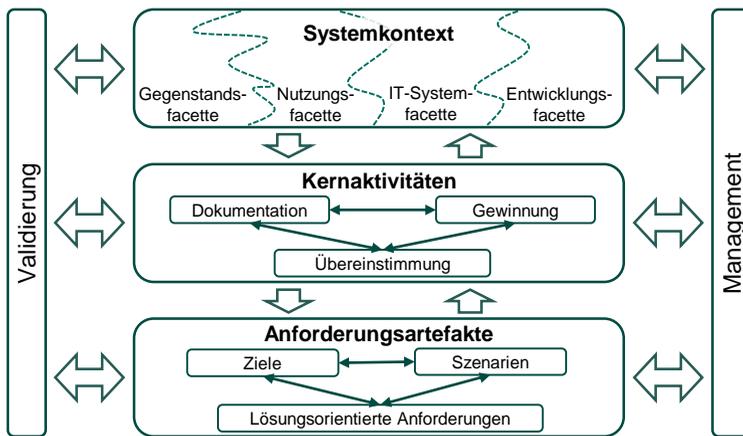


Abbildung 2.27: Darstellung der Zusammenhänge des Requirements Engineerings nach POHL (2007, S. 39)

Die Aktivität der Gewinnung inkludiert das Sammeln von Anforderungen, die bei Stakeholdern wie beispielsweise Kunden bestehen, aber auch Anforderungen aus anderen Quellen. Im Anschluss werden diese in der Aktivität Dokumentation dokumentiert und gleichzeitig weiter spezifiziert. Dabei ist es entsprechend POHL (2007) von entscheidender Bedeutung, nicht ausschließlich die Anforderung selbst zu dokumentieren, sondern ebenfalls die zugehörigen Begründungen und Entscheidungen. In der Aktivität Übereinstimmung sollen Interessenskonflikte, die zwischen verschiedenen Stakeholdern existieren, aufgedeckt werden. Zielsetzung ist es, einen lösungsfähigen Kompromiss zu entwickeln, der den Interessen aller Stakeholder gerecht wird. Die Validierung adressiert nach POHL (2007) viele verschiedenen Ziele, weswegen sie als Querschnittsfunktion bezeichnet wird. Dergestalt soll durch

die Validierung sichergestellt werden, dass eine vollständige Betrachtung des Kontexts erfolgt und eine Überwachung der Kernaktivitäten stattfindet. Weiter soll die Qualität der Anforderungen durch die Validierung sichergestellt werden. Dabei umfasst die Qualität sowohl den inhaltlichen Aspekt der Anforderung als auch eine rein formale Betrachtung. Die zweite Querschnittsaktivität, das Management, beinhaltet die Verwaltung sämtlicher Anforderungen über den gesamten Produktlebenszyklus. Sie beinhaltet unter anderem auch das Änderungsmanagement. Die Wechselwirkung der Kernaktivitäten und das Zusammenspiel mit den Querschnittsaktivitäten bedingen nach POHL (2007) die Notwendigkeit eines iterativen Vorgehens.

Im Rahmen der parallelen Entwicklung von Ziel- und Objektsystem gewinnt die modellbasierte Entwicklung stetig an Relevanz. So wird beispielsweise bei der Dokumentation von Anforderungen bzw. der Modellierung des Zielsystems oftmals auf Modellierungssprachen wie die Systems Modeling Language (SysML) oder die Unified Modeling Language (UML) zurückgegriffen (u.a. Frank, 2006; Stechert, 2010; Zingel, 2013). Die Zielsetzung dieser Ansätze besteht primär darin, in der Anwendung (vorwiegend in den Ingenieursdisziplinen wie Maschinenbau) verbreitete dokumentenbasierte Produktmodelle durch ganzheitliche, vernetzte Modelle zu ersetzen, die die Entwickelnden bei unterschiedlichen Produktentwicklungsaktivitäten wie beispielsweise der Gestaltsynthese oder der Validierung unterstützen. Darüber hinaus sind die Modellierungssprachen ein Werkzeug, mit dessen Hilfe die Entwickelnden ihre mentalen Modelle abbilden und auf dessen Basis sie sich austauschen bzw. ihre individuellen mentalen Modelle ab- und aneinander angleichen können (Lamm & Weilkens, 2014). Dazu dienen die verschiedenen Diagrammtypen, die unterschiedliche, bedarfsgerechte Sichtweisen auf das in sich konsistente Modell ermöglichen. Im Rahmen der SysML werden drei verschiedene Arten von Diagrammen – Strukturdiagramme, Verhaltensdiagramme und Anforderungsdiagramme – unterschieden, die die gezielte Verknüpfung von Wissens-elementen ermöglichen. So bieten beispielsweise Use-Case-Diagramme eine Sichtweise, in der eine Verbindung zwischen den relevanten Stakeholdern oder Systemen, gewünschtem Systemverhalten und Anwendungsfall hergestellt wird.

RUPP (2009) baut auf ein ähnliches Verständnis des *Requirements Engineerings* wie POHL (2007) auf, wobei sie jedoch lediglich vier Aktivitäten zur Beschreibung dessen verwendet. Diese sind: Erheben, Dokumentieren, Prüfen und Verwalten (vgl. Abbildung 2.28). Die Aktivitäten Erheben und Dokumentieren können dabei äquivalent zu den Kernaktivitäten Gewinnung und Dokumentation nach POHL (2007) betrachtet werden. Die Aktivität Prüfen umfasst die Aspekte der Kernaktivität Übereinstimmung und Validierung. Das Verwalten kann analog zur Querschnittsaktivität Management betrachtet werden.

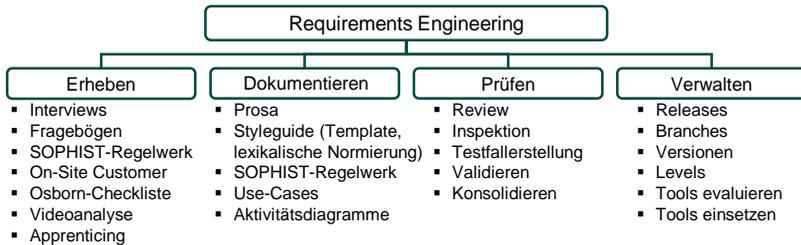


Abbildung 2.28: Darstellung der Grundaktivitäten des Requirements Engineerings nach RUPP (2009, S. 14)

HOOD et al. (2008) definieren zwei Teilprozesse des *Requirements Engineerings*. In einem ersten Schritt gilt es dabei, den Umfang des Entwicklungsprojekts zu definieren, bevor darauf aufbauend die eigentlichen Anforderungen erarbeitet werden können (vgl. Abbildung 2.29).

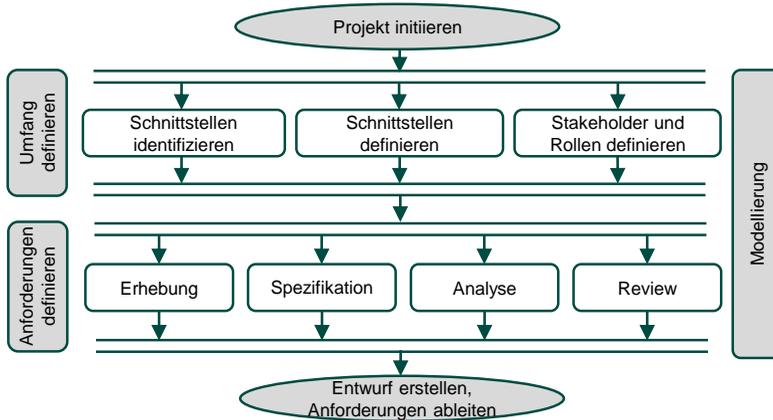


Abbildung 2.29: Darstellung der Zusammenhänge des Requirements Engineerings nach HOOD (2008, S. 50)

Im Rahmen des Teilprozesses Umfang definieren sind die relevanten Schnittstellen zu identifizieren und zu definieren sowie sämtliche für den Entwicklungsprozess relevanten Stakeholder zu bestimmen. Hierbei gilt es auch, deren Rollen in der Entwicklung zu definieren. Zwar beschreiben HOOD et al. (2008), dass es notwendig ist, Anforderungen zu kennen, um diese Tätigkeiten durchführen zu können, dennoch soll die Definition des Umfangs separat betrachtet werden, da dies von besonderer Relevanz ist. Die Definition des Umfangs bildet nachfolgend die zentrale Einflussgröße für den zweiten Teilschritt, in dem konkrete Anforderungen erhoben, spezifiziert, analysiert und geprüft werden. Das Zusammenspiel der beiden Teilprozesse, aber auch insbesondere der zweite Teilschritt stellen dabei einen iterativen, sich gegenseitig bedingenden Prozess dar (Hood et al., 2008).

Nach EBERT (2014) umfasst das *Requirements Engineering* die sechs Aktivitäten: Ermittlung, Analyse, Abstimmung, Dokumentation, Prüfung und Verwaltung, die miteinander in Relation stehen (vgl. Abbildung 2.30).

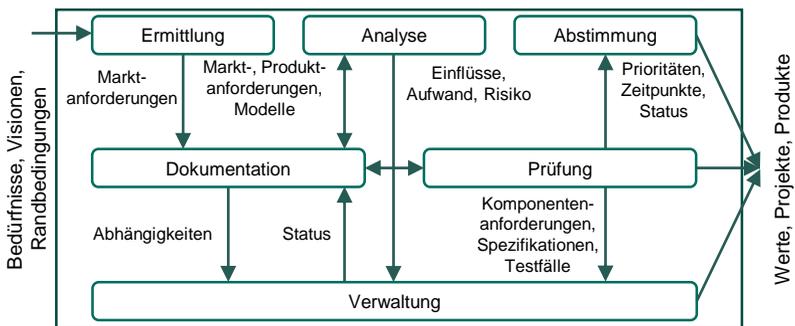


Abbildung 2.30: Darstellung der Zusammenhänge des Requirements Engineerings nach EBERT (2014, S. 40)

So müssen zu Beginn der Entwicklung die Kundenbedürfnisse und etwaige Randbedingungen ermittelt werden und in Form von Marktanforderungen dokumentiert werden. Durch die Analyse ebendieser gelingt es systematisch, weitere Marktanforderungen, aber auch Produkt- und Produktkomponentenanforderungen abzuleiten, die ebenso dokumentiert werden. In der Prüfung werden die Zielvorgaben der dokumentierten Anforderungen beispielsweise anhand der Definition von Testfällen geprüft. Gleichzeitig erfolgt durch die Analyse eine Abschätzung des Aufwands zur

Umsetzung und des zur Umsetzung zugehörigen Risikos. In Abstimmungen müssen die Prioritäten der Anforderungen festgelegt werden. Hierbei bildet der geforderte Liefertermin ein entscheidendes Priorisierungskriterium. Allerdings wird zusätzlich das zur Verfügung stehende Budget und die vorliegende Ressourcensituation als Entscheidungsquelle hinzugezogen. Über diese wird die Anzahl der umzusetzenden Anforderungen je Freigabe bestimmt. Nach EBERT (2014) ist indes die Verwaltung von Anforderung die zentrale Aktivität des *Requirements Engineerings*. In diesem Zuge hebt er insbesondere die Unsicherheiten, mit denen Anforderungen behaftet sind, hervor, da sich hieraus aufwendige Änderungen ergeben können. Zusätzlich unterstreicht das seiner Meinung nach die Bedeutung der Nachverfolgbarkeit von Anforderungen, da somit das Management von Anforderungen deutlich einfacher wird.

Übergreifend lässt sich resümieren, dass das *Anforderungsmanagement* viele zu beachtende Facetten hat, wobei es Überschneidungen hinsichtlich der zentralen Aktivitäten gibt. So wird meist das Wechselspiel der Aktivitäten Gewinnung, Dokumentation, Verwaltung und Validierung beschreiben, wobei die Validierung als „Kernaktivität des Anforderungsmanagements“ (Sutcliffe, 1996, S. 173, eigene Übersetzung) betrachtet wird. Nachfolgend wird die Entwicklung von Zielsystemen erörtert.

Nach MEBOLDT (2009) stellt die Entwicklung des Zielsystems einen wichtigen Bestandteil der Entwicklungstätigkeit dar. So gilt es im Rahmen des Entwicklungsprojekts das zunächst vage initiale Zielsystem kontinuierlich zu erweitern und zu konkretisieren und bei identifizierten Inkonsistenzen anzupassen. ALBERS, HEITGER et al. (2018) definieren das initiale Zielsystem als:

Initiales Zielsystem²⁰:

„Das initiale Zielsystem liefert zu Beginn des Produktentstehungsprozesses die ersten grundlegenden Ziele sowie die Begründungen für die Entwicklung des richtigen Produktes“

LOHMEYER (2013) stellt heraus, dass das initiale Zielsystem häufig dem Reifegrad eines Lasten- oder Pflichtenheft der Entwicklung entspricht. Nach OERDING (2009) ist das zu Beginn der Entwicklung vorliegende initiale Zielsystem insbesondere dadurch gekennzeichnet, dass relevante Informationen fehlen oder nur ungeordnet vorliegen, folglich Unsicherheit vorliegt. Ferner betont er die besondere Rolle der Validierung im Rahmen der Entwicklung des Zielsystems. Dabei sind seiner Ansicht

²⁰ (Albers, Heitger et al., 2018); Übersetzung nach HEITGER (2019, S. 56).

zufolge die Formulierung guter Hypothesen und die Findung geeigneter Validierungsstrategien der Schlüssel zu einer effizienten Produktentstehung. Er beschreibt dahingehend ein iteratives Vorgehen, das sich mittels des erweiterten ZHO-Systemtripels (vgl. Abschnitt 2.1.2.5) darstellen lässt, um das initiale Zielsystem zu erweitern und stellt dieses in einem Regelkreis dar (vgl. Abbildung 2.31). Im Rahmen dieses iterativen Vorgehens wird ein kontinuierlicher Erkenntnisgewinn realisiert, durch den das Zielsystem entwickelt wird (Oerding, 2009).

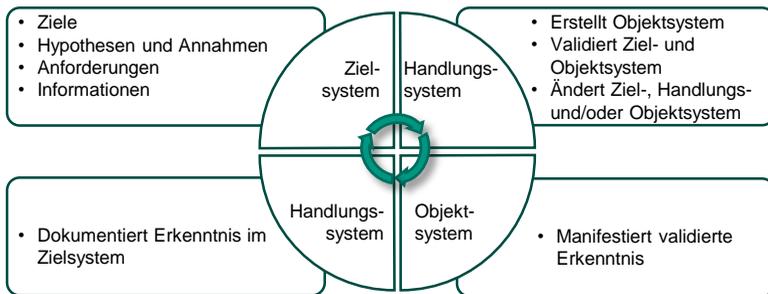


Abbildung 2.31: Validierung als zentrale Aktivität der Zielsystementwicklung; Darstellung dieses Zusammenhangs durch das ZHO-Systemtripel (Oerding, 2009, S. 107)

MUSCHIK (2011) nennt im Rahmen einer empirischen Untersuchung im Kontext der Automobilentwicklung den Umgang mit Unsicherheiten – hervorgerufen durch die Vernetzung – und der Dynamik der Veränderung des Zielsystems sowie seiner Elemente als eine zentrale Herausforderung der Zielsystementwicklung. Dabei stellt sie fest, dass Entscheidungen, die das Zielsystem und seine Elemente betreffen, in unterschiedlichen Abteilungen und von unterschiedlichen Personen getroffen werden und dass somit die Prozesskomplexität zunimmt, da es häufig zu Widersprüchen kommt. Darauf aufbauend adressieren ALBERS, MUSCHIK und EBEL (2010) Handlungsbedarfe zur Unterstützung der Zielsystementwicklung, die LOHMEYER (2013, S. 69) zusammenfasst:

- Hierarchie und Vernetzung der Zielsystemelemente sollten in Entscheidungssituationen adäquat dargestellt und Unsicherheiten bewertet sowie ausgewiesen werden.
- Vorwissen bildet einen wesentlichen Bestandteil der Entscheidungsfindung und muss verfügbar gemacht werden.

- Die Standardisierung der Arbeitsschritte darf lediglich derart weit ausgeprägt sein, dass das vorhandene Vorwissen zum Umgang mit Unsicherheiten adäquat eingesetzt werden kann.
- Informationen sollen durchgängig transparent verfügbar sein und die Verarbeitung dieser und des verbundenen Wissens durch Methoden unter Berücksichtigung der vorliegenden Dynamik unterstützt werden.

Im Kontext der Entwicklung systemischer, dynamischer Zielsysteme beschreibt ME-BOLDT (2009, S. 189), dass drei verschiedene Operatoren bestehen, auf Basis derer sich die Entwicklung des Zielsystems beschreiben lässt: (vgl. Abbildung 2.32)

- **Erweitern:** Neues Zielsystemelement, welches sich nicht aus bestehenden Zielsystemelementen ableiten lässt, wird hinzugefügt.
- **Konkretisieren:** Neues Zielsystemelement, welches sich aus bestehenden Zielsystemelementen ableiten lässt, wird hinzugefügt.
- **Verändern:** Bestehendes Zielsystemelement muss aufgrund von Inkonsistenzen verändert oder entfernt werden.

Dabei liegt in der Literatur eine Vielzahl von Methoden zur Unterstützung der Erfassung von Anforderungen (u.a. Ehrlenspiel & Meerkamm, 2013, 399-401) und damit der gezielten Erweiterung und/oder Konkretisierung des Zielsystems vor.

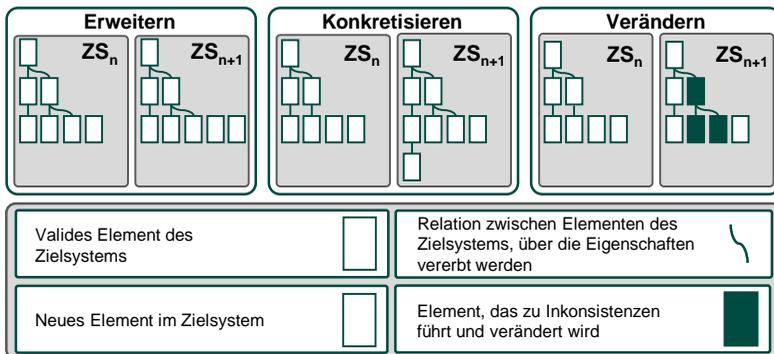


Abbildung 2.32: Entwicklung des Zielsystems durch die drei Operationen Erweitern, Konkretisieren und Verändern (Meboldt, 2009, S. 189)

ALBERS, HEITGER et al. (2018) konstatieren, dass das initiale Zielsystem eines Produktentwicklungsprojekts in der Regel auf Basis des Zielsystems der Vorgängergeneration aufgebaut ist, wobei ein Großteil der bestehenden Zielsystemelemente der Vorgängergeneration übernommen wird und lediglich einzelne Inhalte geändert oder ergänzt werden. Auch MEBOLDT (2009, S. 191) arbeitet den Zusammenhang von Zielsystemen verschiedener aufeinanderfolgender Produktgenerationen heraus. Dabei stellt er fest, dass dynamische, sich ändernde Zielsysteme häufig hinsichtlich der auftretenden kostenintensiven Iterationen kritisiert werden und ein fehlender „freeze“ moniert wird. Im Rahmen seiner Arbeit generiert er ein Konzept, das einen „freeze“ des Zielsystems während der Produktentwicklung vorsieht, nachdem das Zielsystem jedoch weiter gepflegt wird und notwendige Änderungen des Zielsystems weiter berücksichtigt werden. Bei Initiierung der folgenden Produktgeneration G_{n+1} fungiert nach MEBOLDT (2009) das ergänzte Zielsystem der Vorgängergeneration als initiales Zielsystem. Dabei muss die Kompatibilität der zusätzlichen und geänderten Zielsystemelemente geprüft werden (vgl. Abbildung 2.33).

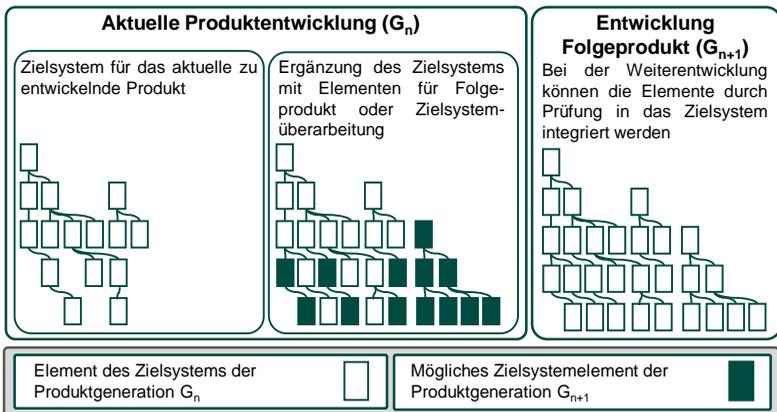


Abbildung 2.33: Zielsystementwicklung über Produktgenerationen nach MEBOLDT (2009, S. 192). Verwendung der Nomenklatur entsprechend Kapitel 2.2.1; links: Zielsystem der Produktgeneration G_n beim „freeze“; mitte: weiterentwickeltes Zielsystem von G_n nach „freeze“; rechts: Initiales Zielsystem der Produktgeneration G_{n+1}

Dabei gilt es bei der Zielsystementwicklung im Modell der PGE nach ALBERS, HAUG et al. (2016) zu berücksichtigen, dass Zielsystemelemente nicht allein auf Basis der

strategischen Vorgaben resultieren können, sondern vielmehr weitere Zielsystemelemente auf Basis der Analyse von Referenzsystemelementen generiert werden müssen. RICHTER, RAPP, KURTZ, ROMANOV und ALBERS (2019) analysieren, wie der Reifegrad des initialen Zielsystems durch die Identifikation geeigneter Referenzsystemelemente gesteigert werden kann. Dazu zerlegen sie das bestehende Zielsystem in Subsysteme, die wiederum systematisch hinsichtlich vorliegender Wissenslücken untersucht werden können. Auf Basis dieser Wissenslücken müssen dann wiederum geeignete Referenzsystemelemente identifiziert werden, um die Entwickelnden beim Schließen der Wissenslücken zu unterstützen.

ALBERS, KÜHN und DUMITRESCU (2017) erarbeiten einen Ansatz zur modellbasierten Entscheidungsunterstützung in der Produktgenerationenplanung. Dabei wird das Eigenschaftsprofil der zu entwickelnden Produktgeneration, bestehend aus zu differenzierenden Merkmalen, auf Basis des Vorgängerproduktes abgeleitet. Durch die systematische Unterstützung dessen mithilfe eines Modell-Based-Systems-Engineering-Ansatzes können dabei aus dem Systemmodell Rückschlüsse hinsichtlich des Entwicklungsaufwands abgeleitet werden.

2.2.2.3 Dimensionen von Zielsystemen

Um auf Basis des Zielsystems bzw. der damit verbundenen Informationen durchzuführende Produktentwicklungsaktivitäten abzuleiten, schlagen ALBERS, LOHMEYER und EBEL (2011) die Bewertung der Ziele entsprechend den vier Dimensionen: **Reifegrad**, **Härtegrad**, **Beeinflussbarkeit** und **Auswirkung** vor. Nach EBEL (2015) fungieren die Dimensionen somit als wesentliche Voraussetzung zum Verständnis des Zielsystems. Um den **Reifegrad** zu ermitteln, wird eine Analyse entsprechend dem Unsicherheitsverständnis nach MCMANUS und HASTINGS (2006) (vgl. Abschnitt 2.3) durchgeführt, da der Reifegrad eines Ziels gegenläufig zu der vorliegenden Unsicherheit verläuft. Damit ist der Reifegrad eines Ziels definiert als:

Reifegrad²¹:

„Der Reifegrad von Zielen beschreibt die Vollständigkeit, mit der die Wissens- und Definitionslücken eines Ziels geschlossen sind.“

Die separate Bewertung der Dimension **Härtegrad** bewirkt, dass bei der Priorisierung von Zielen berücksichtigt wird, dass es Ziele gibt, die erfüllt werden müssen, und Ziele, die nach Möglichkeit berücksichtigt werden sollen (Ebel, 2015). Der Härtegrad wird dabei folgendermaßen definiert:

²¹ (Albers, Lohmeyer et al., 2011, S. 259) zit. nach (Ebel, 2015, S. 101).

Härtegrad²²:

„Der Härtegrad von Zielen beschreibt die definierte Änderbarkeit eines Ziels.“

Die Konsequenz durch eine Zieldefinition beschreiben ALBERS, LOHMEYER et al. (2011) als die **Auswirkung** eines Ziels. Dabei differenziert EBEL (2015) zwischen endogenen und exogenen Auswirkungen. Endogene Auswirkungen beziehen sich auf das zu entwickelnde Produkt und schließen primär Kosten-, Ressourcen- oder Zeitaufwände der Produktentstehung ein. Sie resultieren insbesondere aus den verschiedenartigen Verknüpfungen der Ziele. Durch die unterschiedlichen Arten von Verknüpfungen entstehen bei Änderung eines Ziels differierende Auswirkungen. Hinsichtlich der Beschreibung der Änderungsausbreitung unterscheidet KLINGLER (2016) aufbauend auf dem Verständnis von ECKERT, CLARKSON und ZANKER (2004) dementsprechend, wie Änderungen über Ziele weiterverbreitet oder absorbiert werden zwischen Änderungsmultiplikatoren und Absorbieren. Exogene Auswirkungen beziehen sich hingegen auf die Kunden und Anwender eines Produkts respektive deren Zufriedenheit mit dem Produkt. Daraus ergibt sich für die Auswirkung eines Ziels folgende Definition:

Auswirkung²³:

„Die Auswirkung von Zielen beschreibt die Konsequenz einer Zieldefinition oder -änderung hinsichtlich der erforderlichen Umsetzungsaufwände und der resultierenden Kundenzufriedenheit.“

Zwar sind die Produktentwickelnden oftmals mit der Entwicklung eines Teilsystems bedacht, können die dafür notwendigen Ziele jedoch nicht immer ändern (Albers, Lohmeyer et al., 2011). Daraus ergibt sich die vierte Dimension von Zielsystemelementen – die **Beeinflussbarkeit** – die eben die Fähigkeit der Akteure zum Ändern von Zielen beurteilt. Die Beeinflussbarkeit wird folglich definiert als:

Beeinflussbarkeit²⁴:

„Die Beeinflussbarkeit von Zielen beschreibt die Fähigkeit einzelner Akteure oder Organisationseinheiten, ein bestimmtes Ziel zu definieren bzw. zu ändern.“

²² (Albers, Lohmeyer et al., 2011, S. 259) zit. nach (Ebel, 2015, S. 103)

²³ (Albers, Lohmeyer et al., 2011, S. 260) zit. nach (Ebel, 2015, S. 104)

²⁴ (Albers, Lohmeyer et al., 2011, S. 259–260) zit. nach (Ebel, 2015, S. 105)

Die Beeinflussbarkeit als Zielsystemdimension stuft EBEL (2015) als eine in der theoretischen Betrachtung wichtige Komponente ein, in der Praxis wird jedoch die Explikation dieser Dimension als nicht sinnvoll erachtet, da sie vom entsprechenden Hintergrund des Betrachters abhängig und damit unterschiedlich ist.

Durch die Verbindung der vier Dimensionen leiten ALBERS, LOHMEYER et al. (2011) sechs Matrizen ab, mittels derer Produktentwickelnde bei der Auswahl von Produktentwicklungsaktivitäten unterstützt werden. Bei der **Kritikalitätsmatrix** (vgl. Abbildung 2.34 links) wird die Beeinflussbarkeit über der Auswirkung aufgetragen. Sie ermöglicht dem Methodenanwender Aussagen hinsichtlich der Kritikalität von Zielen und auf diese Weise, welchen Zielen er während der Produktentwicklung besondere Aufmerksamkeit zukommen lassen muss.

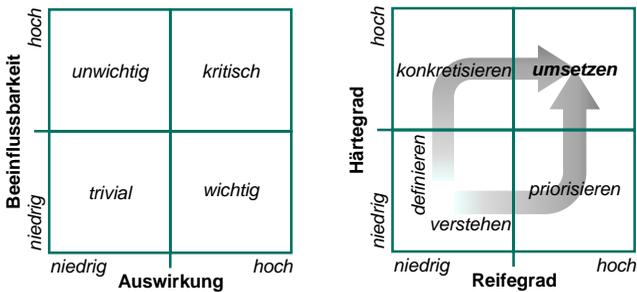


Abbildung 2.34: Links: Kritikalitätsmatrix; rechts: Entscheidungsmatrix (Albers, Lohmeyer et al., 2011, S. 261) Darstellung nach (Ebel, 2015, S. 108–109)

Durch die Gegenüberstellung von Härtegrad und Reifegrad erhält man die **Entscheidungsmatrix** (vgl. Abbildung 2.34 rechts), die das Unsicherheitsdilemma adressiert (Albers, Lohmeyer et al., 2011; Lohmeyer, 2013) (vgl. Abschnitt 2.3). Zum Umgang mit diesem Dilemma bestehen zwei Wege. Entweder kann zunächst ein tiefgehendes Verständnis hinsichtlich der Ziele aufgebaut werden oder die Ziele werden zu Beginn der Entwicklung ohne ausreichendes Hintergrundwissen hart definiert, dann konkretisiert und umgesetzt. Der zweite Weg ist deutlich riskanter, da bei der Definition vorliegende Unsicherheiten zu Iterationen führen können. Allerdings kann dieses Vorgehen ebenfalls zu einer Verkürzung der Entwicklungszeit beitragen.

Wird die Auswirkung über dem Härtegrad aufgetragen erhält man die **Definitions-matrix** (vgl. Abbildung 2.35 links). Nach ALBERS, LOHMEYER et al. (2011) weisen Ziele mit hoher Auswirkung viele Wechselwirkungen mit anderen Zielen auf und stellen somit Änderungsmultiplikatoren dar, während Ziele mit geringer Auswirkung Änderungsabsorber sind. Somit sind Ziele mit hoher Auswirkung vorrangig zu definieren und im Anschluss zu validieren. Ziele mit geringer Auswirkung hingegen sollten nachrangig definiert werden, da durch sie Freiheitsgrade bestehen bleiben.

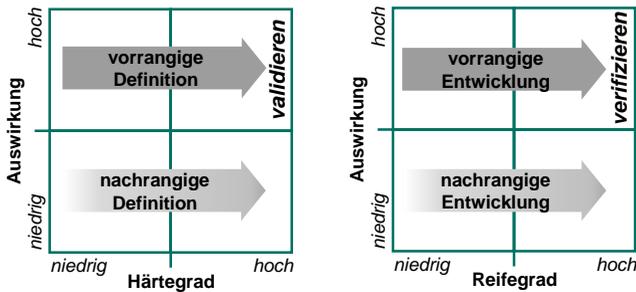


Abbildung 2.35: Links: Definitionsmatrix; rechts: Entwicklungsmatrix (Albers, Lohmeyer et al., 2011, S. 262) Darstellung nach (Ebel, 2015, S. 110-112)

Die **Entwicklungsmatrix** (vgl. Abbildung 2.35 rechts) entsteht durch die Gegenüberstellung von Auswirkung und Reifegrad. Sie informiert, für welche Ziele zunächst Lösungen gefunden werden sollten. Es empfiehlt sich für Ziele mit hoher Auswirkung, vorrangig Lösungen zu suchen, da auf diese Weise das Risiko für die Produktentwicklung reduziert werden kann. Überdies gelingt es dadurch, Zielkonflikte zu identifizieren, da die Wechselwirkungen zu anderen Zielen besser verstanden werden können. Nach der Entwicklung der Lösungen für Ziele mit hoher Auswirkung ist die Zielerfüllung zu verifizieren (Albers, Lohmeyer et al., 2011).

Die **Partizipationsmatrix** (vgl. Abbildung 2.36 links) entsteht durch die Gegenüberstellung der Beeinflussbarkeit und des Härtegrads. Um ein Produkt entwickeln zu können, gilt es kontinuierlich, die Änderbarkeit von Zielen einzuschränken. Bei Zielen, die den Verantwortungsbereich eines Akteurs beeinflussen, sollte dieser ausreichend in Entscheidungen eingebunden sein, da sonst eventuell die Qualität des zu entwickelnden Produkts negativ beeinflusst wird. Entsprechend sollte der Akteur im Rahmen einer hohen Beeinflussbarkeit des Ziels Partizipation anbieten, damit er

im Rahmen einer niedrigen Beeinflussbarkeit Partizipation einfordern kann (Albers, Lohmeyer et al., 2011).

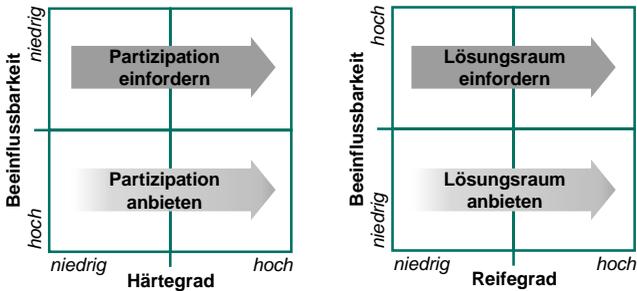


Abbildung 2.36: Links: Partizipationsmatrix; rechts: Konkretisierungsmatrix (Albers, Lohmeyer et al., 2011, S. 262) Darstellung nach (Ebel, 2015, S. 113–114)

Die **Konkretisierungsmatrix** entsteht durch Auftragen der Beeinflussbarkeit über den Reifegrad (vgl. Abbildung 2.36 rechts). Ziele und Wechselwirkungen zwischen diesen schränken den Lösungsraum ein. Durch geschickte Konkretisierung eines Ziels ist es möglich, dass ungeachtet der Konkretisierung, die eigentlich den Lösungsraum einschränkt, neue Lösungsräume entstehen. Dafür bedarf es gleichwohl Möglichkeiten der Beeinflussbarkeit von Zielen. Deshalb gilt es, im Rahmen einer geringen Beeinflussbarkeit Lösungsräume einzufordern respektive bei großer Beeinflussbarkeit Lösungsräume anzubieten, um die bestmögliche Lösung auf Gesamtsystemebene zu finden (Albers, Lohmeyer et al., 2011).

Darüber hinaus liegt in der Literatur eine Vielzahl verschiedener Ansätze zur Priorisierung von Zielen und Anforderungen vor, um eine kunden- und anwenderorientierte Planung von Produktgenerationen zu ermöglichen. **Buy a Feature** (Rein & Münch, 2013) ist ein experimenteller Ansatz, um den finanziellen Wert von Eigenschaften oder Funktionen aus Kundensicht zu ermitteln. Dazu wird jeder Funktion und jedem Feature ein Preis zugeordnet, der auf Basis der geschätzten Entwicklungskosten etc. ermittelt wird. Im Anschluss können Produktmanager, welche die Kundenperspektive vertreten, mit einem definierten Budget Funktionen und Eigenschaften „kaufen“, die aus ihrer Sicht die relevantesten für das Produkt sind, wodurch eine Priorisierung entsteht. Ein ähnlicher Ansatz ist die **Gap Analysis** (Redling, 2003). Im Rahmen dieses experimentellen Ansatzes bewerten Kunden

Produkteigenschaften entsprechend der Bedeutung für sie und geben darüber hinaus an, inwiefern die aktuelle Realisierung dieser Eigenschaften Zufriedenheit bei ihnen auslöst. Durch diese Bewertung entsteht eine Priorisierung der Eigenschaften entsprechend Zufriedenheit und Bedeutung. MEYER, WIEDERKEHR, KOLDEWEY und DUMITRESCU (2022) schlagen im Kontext einer Methode zur nutzungsdatenbasierten Produktplanung ein Portfolio zur Priorisierung von Produkteigenschaften vor. Dabei wird die strategische Relevanz über der angenommenen Unsicherheit aufgetragen. Produkteigenschaften mit hoher strategischer Relevanz und hoher Unsicherheit weisen die höchste Priorität für datenbasierte Untersuchungen auf. Im Zuge von **Affinity Grouping** (Byrne & Barlow, 1993) sammeln die Entwickelnden zunächst Produkteigenschaften, die im Anschluss hinsichtlich Überschneidungen gruppiert werden, bevor sie dann hinsichtlich der Relevanz priorisiert werden. Zielsetzung des **Value vs. Complexity model** (Wiegers, 1999) ist eine Priorisierung der Anforderungen entsprechend der Schwierigkeit zur Implementierung dieser und der Bedeutung aus Kundensicht. Somit werden Eigenschaften mit dem höchsten Wert und der geringsten Komplexität priorisiert. Beim **Weighted Scoring** (Hauser & Clausing, 1998), das auf dem House of Quality der Quality-Function-Deployment-Methode aufbaut, gewichten Produktmanager Eigenschaften und Anforderungen gegeneinander entsprechend Eigenschaften wie Kundenwert oder Risiko. Somit ergibt sich eine Priorisierung der Anforderungen hinsichtlich dieser Dimensionen.

Auch mithilfe des **Kano-Modells** kann eine Priorisierung von Produkteigenschaften zueinander erzielt werden. Während konventionellen Qualitätstheorien ein eindimensionaler Zusammenhang zwischen der Qualität und der Kundenzufriedenheit zugrunde liegt, bauen KANO, SERAKU, TAKAHASHI und TSUJI (1996) zur Darstellung dieses Zusammenhangs auf ein zweidimensionales Verständnis. Bei eindimensionalen Qualitätstheorien hängt die Kundenzufriedenheit, die durch ein Qualitätsmerkmal erzeugt wird, direkt mit dessen Qualität zusammen. Bei einer geringen Qualität liegt somit auch eine geringe Zufriedenheit vor und bei einer hohen Qualität entsprechend eine hohe Zufriedenheit (vgl. Abbildung 2.37). Es erfolgt demnach entweder eine ausschließlich objektive oder eine rein subjektive Bewertung der Qualität. Entsprechend dem Qualitätsverständnis nach KANO et al. (1996) ist diese Betrachtungsweise nicht zutreffend, vielmehr bedarf es einer Überlagerung der Bewertung subjektiver und objektiver Qualität. Dies führt dazu, dass zwischen verschiedenen Arten von Qualitätsmerkmalen unterschieden werden muss. So existieren ihrer Auffassung zufolge drei verschiedene Arten von Qualitätsmerkmalen: Basis-, Leistungs- und Begeisterungsmerkmale. Dabei entsprechen Leistungsmerkmale (engl. one-dimensional quality elements) einem eindimensionalen Qualitätsverständnis, die Kundenzufriedenheit steigt folglich linear mit steigender Qualität. Hier können beispielsweise die Leistung eines Fahrzeugs oder der Spritverbrauch angeführt wer-

den. Bei Basismerkmalen (engl. must-be quality elements) hingegen wächst die Zufriedenheit mit zunehmender Qualitätserfüllung nicht weiter an, vielmehr setzt lediglich ein neutrales Zufriedenheitsgefühl ein. Nichterfüllung geht mit starker Unzufriedenheit der Kunden einher. Klassische Basismerkmale sind Sicherheitslösungen wie Airbags oder Sicherheitsgurt in einem Fahrzeug. Begeisterungsmerkmale (engl. attractive quality elements) bringen bei Nichterfüllen keine bis kaum Auswirkungen auf die Kundenzufriedenheit mit sich; bei Erfüllung hingegen einen großen positiven Einfluss. Begeisterungsmerkmale sind beispielsweise Funktionen, die eine große Differenzierung zum Vorgänger oder zum Wettbewerb darstellen, wie z. B. das Design oder aktuell eine sehr große Reichweite bei Elektrofahrzeugen.

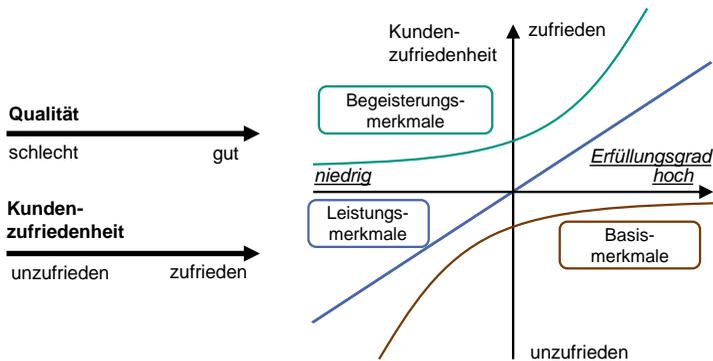


Abbildung 2.37: Links: konventionelles eindimensionales Qualitätsverständnis; rechts: Zweidimensionales Qualitätsverständnis (Kano et al., 1996, S. 170)

Um die Merkmale eines Produkts den verschiedenen Kategorien zuordnen zu können, schlugen KANO et al. (1996) eine Fragebogentechnik vor. Dabei werden sämtliche Qualitätsmerkmale durch Kunden und Anwender sowohl durch funktionale Fragen als auch durch dysfunktionale Fragen bewertet. Es gilt, darauf zu achten, dass die Fragen von hoher Qualität und einheitlicher Referenz sind, da sonst die Qualität der Rückmeldung deutlich absinkt (Mikulić & Prebežac, 2011). Für die Auswertung werden je Merkmal sowohl die Ergebnisse der funktionalen als auch der dysfunktionalen Frage analysiert. Dabei kann ein Merkmal Fragwürdig (Q), Indifferent (I), Entgegengesetzt (R), Basismerkmal (M), Leistungsmerkmal (O) oder Begeisterungsmerkmal (A) sein (Bailom, Hinterhuber, Matzler & Sauerwein, 1996). Das Auswertungsschema ist in Tabelle 2.1 dargestellt.

Tabelle 2.1: Übersicht Auswertungslogik der funktionalen und dysfunktionalen Fragen der Kano-Methode in Anlehnung an BAILOM et al. (1996, S. 121)

		Dysfunktionale Frage				
		1. Würde mich freuen.	2. Setze ich vo- raus.	3. Ist mir egal.	4. Nehme ich in Kauf.	5. Würde mich stören.
Funktionale Frage	1. Würde mich freuen.	Q	A	A	A	O
	2. Setze ich voraus.	R	I	I	I	M
	3. Ist mir egal.	R	I	I	I	M
	4. Nehme ich in Kauf.	R	I	I	I	M
	5. Würde mich stören.	R	R	R	R	Q

Die erzielten Ergebnisse sind allerdings äußerst subjektiv und stark von der befragten Zielgruppe abhängig (Mikulić & Prebežac, 2011). So stellt beispielsweise eine Sitzheizung wohl ein Basismerkmal für Personen der Zielgruppe Luxusfahrzeuge dar, wohingegen Kleinwagenfahrer dies als Begeisterungsmerkmal wahrnehmen könnten. Auch zwischen den im Produktprofil (vgl. Abschnitt 2.1.1.1) adressierten Stakeholdergruppen gilt es, eine Unterscheidung zu treffen. So besteht in der Regel eine Differenz zwischen dem Nutzen und damit der Zufriedenheit, die Kunden durch Qualitätsmerkmale erfahren und die Anwender verspüren. Von einer optimierten Ergonomie eines Arbeitsgeräts erfährt der Anwender als Nutzen beispielsweise weniger körperliche Belastung, wohingegen der Kunde den indirekten Nutzen daraus hat, dass seine Arbeitnehmer beispielsweise weniger klagen oder ähnliches. Zudem sollte angemerkt werden, dass ein Merkmal keinesfalls immer in derselben Kategorie anzuordnen ist, sondern sich im Laufe der Zeit entwickelt (Albers, 1994, S. 73). So ist beispielsweise anzunehmen, dass der erste CD-Player im Auto 1983 (R+V24 Das Magazin, 2015) für die meisten ein Begeisterungsmerkmal begründete, später zum Basismerkmal wurde und mittlerweile bisweilen eher als veraltetes Relikt betrachtet wird.

2.2.3 Zwischenfazit

Produkte und zugehörige Zielsysteme werden in Generationen entwickelt. Dabei lässt sich die Entwicklung einer neuen Produktgeneration entsprechend dem Modell der PGE – Produktgenerationsentwicklung nach ALBERS durch die Abbildung von Referenzsystemelementen auf die zu entwickelnde Produktgeneration beschreiben, wobei die Abbildung durch die Variationsarten eindeutig beschreibbar ist. Die Referenzsystemelemente bestehen dabei nicht ausschließlich aus Objekten, sondern

vielmehr ist auch das Zielsystem, das die Gestalt der Objekte begründet, zu betrachten und bei Bedarf – beispielsweise bei extern verfügbaren Referenzsystemelementen – zu rekonstruieren. Im Sinne einer iterativen Produktentwicklung, die aufgrund der Einzigartigkeit von Entwicklungsprozessen notwendig ist, gilt es, Ziel- und Objektsystem entlang des Entwicklungsprozesses kontinuierlich weiterzuentwickeln. Folglich muss im Rahmen der Zielsystementwicklung, der eine zentrale Rolle im Produktentstehungsprozess zukommt, zunächst das vage initiale Zielsystem abgeleitet werden, das es dann iterativ weiterzuentwickeln gilt. Dabei wird das initiale Zielsystem kontinuierlich erweitert und konkretisiert. Mithilfe der Validierung, die eine zentrale Aktivität zur Reduktion der vorliegenden Unsicherheiten darstellt, kann die Relevanz der Inhalte des Zielsystems geprüft werden. Durch sie kann der dritte Operator der Zielsystementwicklung – Verändern – hervorgerufen werden. So lassen sich Zielsystemelemente identifizieren, die es im Nachgang zu verändern oder zu löschen gilt. Dementsprechend lässt sich die Entwicklung des initialen Zielsystems durch die Aktivitäten *Initiales Zielsystem ableiten*, *Initiales Zielsystem konkretisieren und erweitern*, *Initiales Zielsystem bewerten* und *Initiales Zielsystem validieren* beschreiben, wohingegen das entsprechende Zielsystemmanagement in Anlehnung an das Anforderungsmanagement zusätzlich die Aktivitäten Dokumentation und Verwaltung umfasst. Die Bewertung der Zielsysteme entsprechend den Zielsystemdimensionen ermöglicht Rückschlüsse, beispielsweise wohingegen Unsicherheiten bestehen, und bietet damit einen Indikator, welche Produktentwicklungsaktivitäten nachfolgend durchgeführt werden sollten, um den Reifegrad von Ziel- und Objektsystem effizient zu steigern. Die vorliegenden Zielsystemelemente müssen demnach kontinuierlich entsprechend der Zielsystemdimensionen bewertet werden und damit entsprechende Schlüsse beispielsweise hinsichtlich vorliegender Unsicherheiten ziehen zu können.

2.3 Unsicherheiten in der Zielsystementwicklung

Der Begriff Unsicherheit findet in vielen wissenschaftlichen Disziplinen Anwendung. In der Philosophie unterscheidet man zwischen der subjektiven und objektiven Bedeutung des Begriffs, wobei die subjektive das „Unwissen in Bezug auf etwas und einen entsprechenden emotionalen Zustand umfasst“ (Metzler Lexikon Philosophie, 2008). Objektiv betrachtet beschreibt Unsicherheit, dass in Zukunft auftretende Ereignisse noch nicht feststehen, und bezieht sich dabei vor allem auf den potentiellen auftretenden Schadensfall (Metzler Lexikon Philosophie, 2008). In den Neurowissenschaften beschreibt der Begriff der Unsicherheit den „Zustand unvollständiger oder fehlender Gewissheit“ (Lexikon der Neurowissenschaft, 2000), ohne dabei zu spezifizieren, worauf sich diese Gewissheit bezieht. Als Quelle der Unsicherheit werden „unvollständige Informationen“ (Lexikon der Neurowissenschaft, 2000) und

„widersprüchliche Quellen“ (Lexikon der Neurowissenschaft, 2000) angeführt. Das Verständnis des Begriffs Unsicherheit, das in der Psychologie genutzt wird, beinhaltet sowohl die in der Philosophie diskutierte Komponente der Konsequenz als auch die in den Neurowissenschaften analysierten Ursachen. Dabei wird Unsicherheit in Bezug auf Entscheidungsoptionen als fehlendes Wissen hinsichtlich der Konsequenzen der Entscheidung bzw. der zur Auswahl stehenden Entscheidungsoptionen definiert. Das fehlende Wissen resultiert primär daraus, dass andere nicht kontrollierbare Ereignisse die vorliegende Situation beeinflussen (Lexikon der Psychologie, 2000).

Auch in der Produktentwicklung bildet das fehlende Wissen einen entscheidenden Bestandteil der Unsicherheit. So beschreibt ULLMAN (2009) einen direkten Zusammenhang, wonach fehlendes Wissen die Unsicherheit steigert. Auch LIAO, CHANG, HU und LIN (2009) greifen diesen Gedanken auf und konstatieren, entsprechend dem Organisationsforscher GALBRAITH (1973), der Unsicherheit als Abweichung zwischen benötigtem und vorhandenem Wissen beschreibt, dass der Ursprung von Unsicherheit in fehlendem Wissen oder Informationen besteht, um zukünftige Zustände vorherzusagen. Entsprechend beschreiben Unsicherheiten in der Produktentwicklung nach DE WECK et al. (2007) sowohl die Möglichkeit, dass sich im Laufe des Entwicklungsprojekts getroffene Annahmen als nicht zutreffend herausstellen und somit Änderungen notwendig werden, als auch das Auftreten von Ereignissen, die Einfluss auf den Entwicklungsprozess, das Produkt oder dessen Erfolg am Markt haben können. Dabei kann die Auswirkung sowohl negativ als auch positiv sein. Oftmals werden in der Literatur primär die negativen Auswirkungen in diesem Zuge diskutiert. So schließt BROWNING (1998) ausgehend von Unsicherheiten auf nicht stabile Anforderungen, die sich im Entwicklungsprozess ändern. CAO et al. (2008) definieren die Reduktion von Unsicherheiten als Erfolgsfaktor für die Produktentwicklung, da 1/3 aller Aufwände durch Änderungen entstehen. Auch MOENAERT, MEYER, SOUDER und DESCHOOLMEESTER (1995) beschreiben den großen Aufwand bezüglich Zeit und Kosten, der wegen durch Unsicherheiten ausgelösten Änderungen entsteht. In der DIN ISO31000:2018 werden Unsicherheiten als Ursprung von Risiken definiert (DIN ISO 31000:2018). Sowohl KREYE, GOH UND NEWNES (2011) als auch MCMANUS und HASTINGS (2006) setzen auf diesem Verständnis auf und umfassen Risiken als die negativen Auswirkungen von Unsicherheiten. Entsprechend der Auffassung von DEWECK et al. (2007), dass Unsicherheiten ebenfalls positive Auswirkungen mit sich bringen können, führen sie ergänzend zu den Risiken die Chancen als potentielle Auswirkungen an (Kreye et al., 2011).

MCMANUS und HASTINGS (2006) beschreiben Unsicherheiten entsprechend ihrem Ursprung durch Wissens- und Definitionslücken. Wissenslücken bedeuten dabei

entsprechend der Definitionen nach ULLMAN (2009), LIAO et al. (2009) oder GALBRAITH (1973) einen Mangel an notwendigem Wissen, während Definitionslücken noch ausstehende Entscheidungen und fehlende Spezifizierungen beschreiben. ALBERS, LOHMEYER et al. (2011) bezeichnen das Zusammenspiel aus Wissens- und Definitionslücken, also die Notwendigkeit von Definitionen, um gezielt Wissen generieren zu können, und umgekehrt den Bedarf an spezifischem Wissen, um Definitionen aufstellen zu können, als Unsicherheitsdilemma (vgl. Abbildung 2.38).

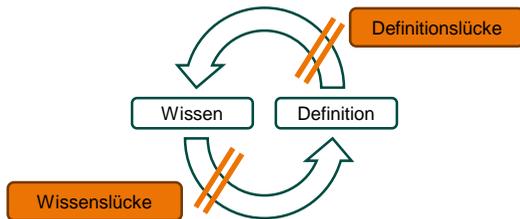


Abbildung 2.38: Darstellung Unsicherheitsdilemma (Albers, Lohmeyer et al., 2011; Lohmeyer, 2013)

Tiefgehend unterscheiden MCMANUS und HASTINGS (2006) bei der Beschreibung von Unsicherheiten hinsichtlich der vorliegenden Information bzw. der Bekanntheit der vorliegenden Wissens- und Definitionslücken. Dabei differenzieren sie zwischen statistischen Unsicherheiten (statistically characterized variables/phenomena), bekannten Unsicherheiten (known unknowns) und unbekanntem Unsicherheiten (unknown unknowns). Statistische Unsicherheiten ergeben sich auf Basis von Ereignissen mit empirisch bestimmbar Ausgang, wie beispielsweise Werkstoffversuchen, mit denen sich Materialparameter bestimmen lassen. Bekannte Unsicherheiten sind den relevanten Stakeholdern zwar bekannt und lassen sich somit eingrenzen, allerdings liegen hierbei teilweise vollständig unbekannt Parameter vor. Unbekannte Unsicherheiten beschreiben Wissens- und Definitionslücken, die den Stakeholdern per Definition nicht bekannt sind. Auch EARL, JOHNSON und ECKERT (2005) unterscheiden zwischen unbekanntem sowie bekannten Unsicherheiten und ergänzen die beiden Klassen: Unsicherheiten der Beschreibung (beispielsweise durch die Vereinfachung in Modellen) und Unsicherheiten der Daten (beispielsweise ungenaue oder unvollständige Daten). Hinsichtlich bekannter und unbekannter Unsicherheiten differenzieren sie entsprechend dem Verständnis nach MCMANUS und HASTINGS (2006) dahingehend, ob sie vorhersehbar sind und ob sie aufgelöst werden können. WYNN, GREBICI und CLARKSON (2011) differenzieren hinsichtlich des Umgangs mit

Unsicherheiten bzw. des Auflösens von Unsicherheiten zwischen epistemischen und aleatorischen Unsicherheiten. Epistemische Unsicherheiten können durch Erkenntnisgewinn beispielsweise durch Validierungsaktivitäten geschlossen werden, wohingegen aleatorische Unsicherheiten zufällig verteilt sind (vgl. Abbildung 2.39).

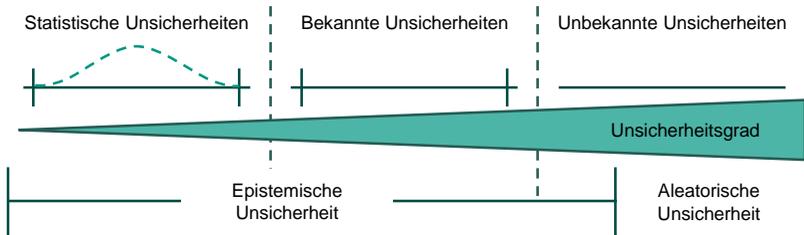


Abbildung 2.39: Darstellung des Unsicherheitsgrads nach MCMANUS und HASTINGS (2006); Darstellung nach MUSCHIK (2011, S. 29)

KREYE et al. (2011) schlagen ein Modell zur Beschreibung von Unsicherheit vor, das die Unsicherheit entsprechend ihrem Ursprung bzw. ihrem Auftreten im Prozess kategorisiert (vgl. Abbildung 2.40).

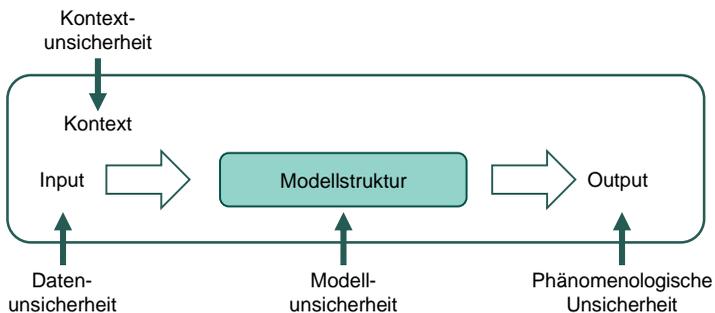


Abbildung 2.40: Beschreibungsmodell der Unsicherheit nach KREYE (2011, S. 98)

Dabei unterscheiden sie zwischen Kontext-, Daten-, Modell- und phänomenologischer Unsicherheit. Datenunsicherheit beeinflusst in diesem Kontext den Input des Modells und kann wiederum in Datenunvollständigkeit, die sich auf Lücken in dem Datensatz bezieht, und Datenungenauigkeit, die falsche oder ungenaue Daten beinhaltet, unterteilt werden. Modellunsicherheiten beschreiben die Abweichungen, die zwischen dem gefundenen Modell und der Realität bestehen und lassen sich damit auf die Eigenschaften eines Modells nach STACHOWIAK (1973) zurückführen, wonach die Modellbildung mittels des Abbildungs-, des Verkürzungs- und des pragmatischen Merkmals beschrieben werden kann. Phänomenologische Unsicherheit besteht darin, dass der Output des Modells Einflüssen von zukünftigen unvorhersehbaren Ereignissen unterliegt (Kreye et al., 2011). Der Kontext beschreibt nach KREYE (2011) die Begebenheiten, welche die betrachtete Situation umgeben, und die Kontextunsicherheit somit den Einfluss, der sich aus einer Änderung dieses Kontexts ergeben könnte.

DEWECK et al. (2007) unterscheiden in diesem Zuge zwischen endogenen und exogenen Unsicherheiten. Endogene Unsicherheiten entstehen innerhalb des zu entwickelnden Produkts oder Systems und sind somit direkt beeinflussbar, während exogene Unsicherheiten außerhalb des eigenen Unternehmens auftreten und somit nicht direkt beeinflussbar sind. Diese entstehen gewöhnlich durch den Gebrauch des Produkts und belaufen sich beispielsweise auf die Märkte oder die politische Situation.

ALBERS, BEHRENDT et al. (2017) heben hervor, dass Unsicherheiten, die bei der Entwicklung eines neuen Produkts auftreten, sich entweder auf die Technologie oder den Markt beziehen und differenzieren deswegen zwischen Technologieunsicherheiten und Marktunsicherheiten. Auch LYNN & AKGÜN (1998), Walcher (2007), KOPPELMANN (2001), DVIR & SADEH (2017), INCEKARA (2018) und OSTERLOH & WARTBURG (1997) differenzieren diese beiden Arten von Unsicherheiten. BLAND & OSTERWALDER (2020) leiten auf Basis des Business Modell Canvas ebenfalls diese Unterscheidung her (vgl. Abbildung 2.41). Zusätzlich betrachten sie die Rentabilität, da ihrer Meinung nach ebenfalls Unsicherheiten bzgl. der Einnahmequellen und der Kostenstruktur vorliegen können. Folglich gilt es ihrer Ansicht zufolge, ein Produkt zu entwickeln, das von Kunden und Anwendern gewünscht wird (Marktunsicherheit), technologisch machbar (Technologieunsicherheit) und zusätzlich noch rentabel ist.

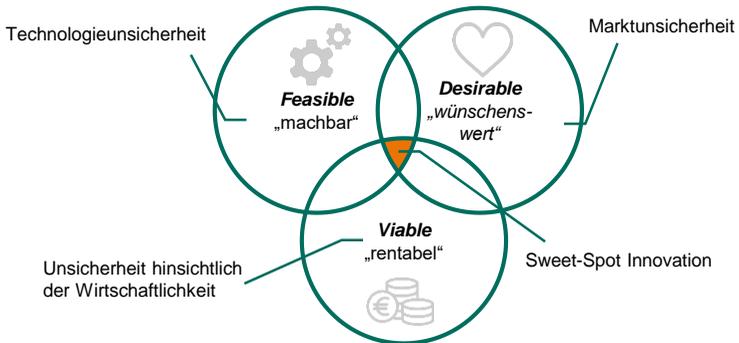


Abbildung 2.41: Sweet-Spot Innovation als Schnittmenge verschiedener Eigenschaften zur Unterscheidung, wohingegen sich Unsicherheiten in der Produktentwicklung belaufen können (Bland & Osterwalder, 2020, S. 32) (eigene Darstellung)

Technologieunsicherheiten (in der Literatur teilweise auch als technologische- oder technologiebedingte Unsicherheiten bezeichnet) befassen sich vorrangig mit der Fragestellung der technischen Machbarkeit (u.a. Incekara, 2018; Koppelman, 2001), wohingegen Marktunsicherheiten (in der Literatur zuweilen als marktliche- oder marktbedingte Unsicherheiten bezeichnet) sich vorrangig auf Wissens- oder Definitionslücken hinsichtlich der Zielmärkte (Cao et al., 2008), der Kundenbedürfnisse (Logue & McDaid, 2008) oder der Zahlungsbereitschaft (Verworn & Herstatt, 2007) beziehen.

ZIMMERMANN, KEMPF, LUTZ, BURSAC und ALBERS (2021) analysieren im Rahmen einer systematischen Literaturanalyse 103 Veröffentlichungen hinsichtlich des Verständnisses von Marktunsicherheiten in der Produktentwicklung. Im Fokus steht neben der Charakterisierung von Marktunsicherheit eine Analyse bezüglich potentieller Ursachen dieser. Dabei konnte festgestellt werden, dass in der Literatur verschiedene Ausprägungen der Marktunsicherheit diskutiert werden, die den Aspekten **Marktkonfiguration**, **Kundenbedürfnisse**, **Zahlungsbereitschaft**, **Produktumsetzung** und **Produktnutzung** zuordenbar sind. Dabei stellen sie heraus, dass sich sämtliche der in der Literatur dargestellten Ausprägungen von Marktunsicherheit durch Wissens- und Definitionslücken beschreiben lassen. Die nachfolgende Tabelle 2.2 listet die verschiedenen identifizierten Ausprägungen der Marktunsicherheit.

Tabelle 2.2: Charakterisierung von Marktunsicherheit nach ZIMMERMANN, KEMPF und LUTZ et al. (2021); eine Auflistung der nummerierten Quellen findet sich im Anhang der Arbeit (vgl. Tabelle A.3)

Marktkonfiguration	• Wissenslücken bzgl. Marktcharakteristika wie Zusammensetzung des Markts	1
	• Wissenslücken bzgl. Zusammensetzung des Zielmarkts und der Zielkunden	2, 3, 4
	• Definitionslücken bzgl. adressierter Zielkunden und Abgrenzung vom Restmarkt	5
	• Wissenslücken bzgl. Wettbewerbssituation durch turbulenten, wechselhaften und damit unvorhersehbaren Wettbewerb und aufgrund des Verhaltens des Wettbewerbs	2, 6, 7, 8
	• Wissenslücken bzgl. finanzieller Rentabilität von Produkten	9
	• Wissenslücken bzgl. der Nachfrage (Quantität)	10,11,12,13
	• Wissenslücken bzgl. Absatz je Kunde	5
Kundenbedürfnisse	• Wissenslücken in Bezug auf Kundenbedürfnisse insbesondere zu frühem Zeitpunkt	14,5,9,15
	• Definitionslücken, welche Kundenbedürfnisse adressiert werden sollen , insbesondere zu frühem Zeitpunkt	16,17,18
Zahlungsbereitschaft	• Wissenslücken bzgl. Zahlungsbereitschaft	14,19,20,21
	• Wissenslücken bzgl. der Preisgrenze verschiedener Zielkunden	22
Produktumsetzung	• Wissenslücken bzgl. der Befriedigung der Kundenbedürfnisse durch technische Realisierung	14,5,23,24
Produktnutzung	• Wissenslücken bzgl. relevanter Anwendungsfälle des zu entwickelnden Produkts	25,26

Zur tieferehenden Untersuchung von Marktunsicherheit extrahieren die Autoren zusätzlich potentielle Ursachen für die verschiedenen Ausprägungen der Marktunsicherheit aus der Literatur und visualisieren die in der Literatur beschriebenen Wechselwirkungen zwischen Ursachen und Ausprägungen (vgl. Abbildung 2.42). Dabei wird deutlich, dass eine trennscharfe Unterteilung der zuvor beschriebenen Aspekte von Marktunsicherheiten in der Realität nicht möglich ist, sondern vielmehr Wechselwirkungen zwischen den einzelnen Aspekten auftreten. So sind Ausprägungen von Marktunsicherheiten (beispielsweise Wissenslücken hinsichtlich der Kundenbedürfnisse) wiederum Ursachen oder Treiber für andere Ausprägungen von Marktunsicherheit (Wissenslücken hinsichtlich Zahlungsbereitschaft oder hinsichtlich der Nachfrage).

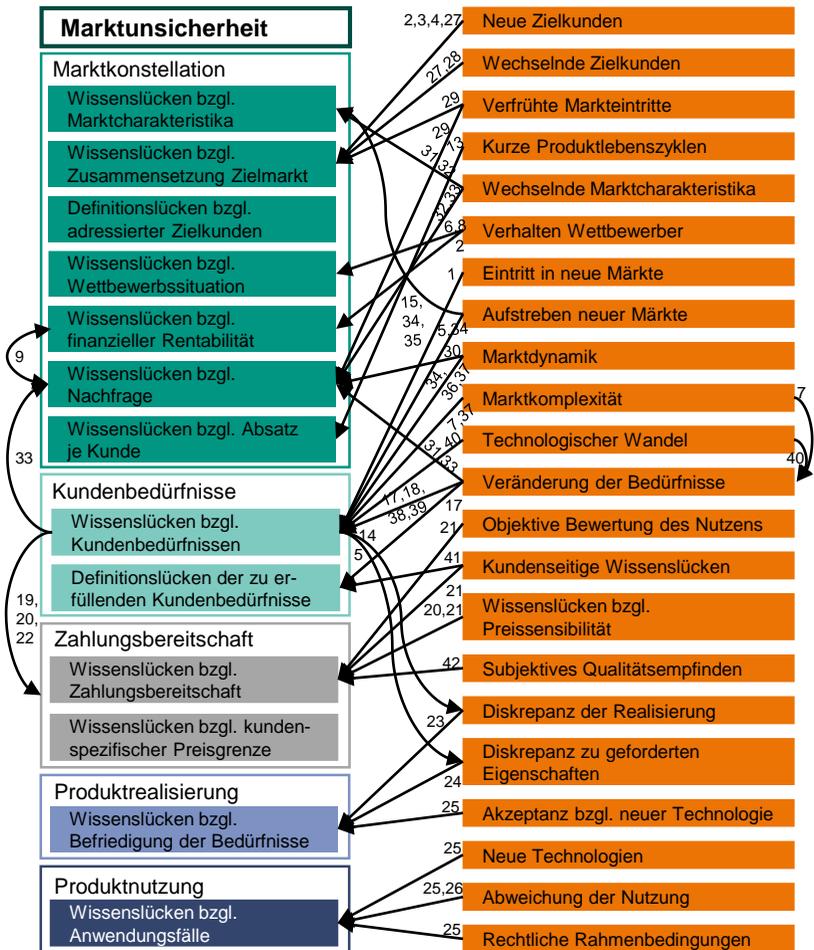


Abbildung 2.42: Darstellung der Wechselwirkungen zwischen verschiedenen Ausprägungen von Marktunsicherheit (links) und potentiellen Ursachen (rechts in orange dargestellt); übersetzt nach ZIMMERMANN, KEMPF und LUTZ et al. (2021) (eine Übersicht der Quellen findet sich im Anhang der Arbeit vgl. Tabelle A.3)

Aufbauend auf den zuvor dargelegten Sichtweisen wird im Rahmen der vorliegenden Arbeit Marktunsicherheit im Kontext der Zielsystementwicklung als Wissens- und Definitionslücken verstanden, die sich vorrangig aus Kunden- und Anwendersicht fehlende oder unvollständige Zielsystemelemente (Definitionslücken) ergeben oder beinhalten, dass Annahmen bzgl. Zielsystemelementen hinsichtlich des Kunden- und Anwendernutzens, oder der Anwendung, aus Kunden- und Anwendersicht nicht zutreffend sind (Wissenslücken). Ursachen für Marktunsicherheiten bestehen insbesondere in fehlendem Kunden-, Anwender-, Anwendungs- und Marktwissen, können allerdings ebenfalls durch Veränderungen der Rahmenbedingungen (Veränderung der Marktcharakteristika, Verhalten von Wettbewerbern, technologischem Wandel etc.) hervorgerufen werden, wobei vorliegende und nicht berücksichtigte Marktunsicherheiten dazu führen können, dass das aus Kunden- und Anwendersicht „falsche“ Produkt entwickelt wird.

2.3.1 Umgang mit Marktunsicherheiten

ZIV, RICHARDSON und KÖLSCH (1997) stellen bzgl. Unsicherheiten fest, dass deren Auswirkungen und diese selbst sich entlang des Entwicklungsprozesses fortpflanzen. Überdies gibt es ihrer Meinung nach keine Entwicklungsprojekte, die frei von Unsicherheiten sind. So sind entweder die Prozesse oder die zu entwickelnden Produkte stets mit Unsicherheiten behaftet. Nach EBERT und DUMKE (2007) sind per Definition sämtliche Ziele und Anforderungen, die in der Produktentwicklung formuliert und erfüllt werden sollen, mit Unsicherheiten behaftet, da sie lediglich einen Wunsch, SOLL-Zustand oder eine Idee darstellen. Dies führt ihrer Ansicht nach dazu, dass sich Anforderungen in einer hohen Regelmäßigkeit ändern, wobei diese Änderungen einen Mehraufwand bedingen. Dieser liegt in der Regel bei ca. 1-5 % des Projektaufwands²⁵, teilweise aber auch deutlich höher (Ebert & Man, 2005; Ebert & Dumke, 2007; Ebert, 2014). Folglich definieren ALBERS, BEHRENDT, KLINGLER und MATROS (2016) die systematische Identifikation von Unsicherheiten und die gezielte Reduktion dieser als ein Ziel der Produktentwicklung (Albers, Behrendt et al., 2016), da die vorliegenden Unsicherheiten entscheidenden Einfluss auf den Erfolg der Produktentwicklung ausüben (Ebert & Man, 2005). Insbesondere zu einem frühen Zeitpunkt der Produktentwicklung sind die Unsicherheiten allerdings äußerst vielfältig und dadurch schwer zu identifizieren (Cao et al., 2008). Überdies ist die Wahrnehmung von Unsicherheiten und die Einschätzung ihrer Auswirkung subjektiv

²⁵ Andere Autoren schätzen diesen Aufwand deutlich höher. So berichten CAO, CHEN, ZHAO und NAGAHIRA (2008) von ca. 1/3 des Projektaufwands, der durch unnötige Änderungen entsteht.

(Wiebel et al., 2013). ULLMAN (2009) führt in diesem Kontext aus, dass bei der Generierung von Wissen zur Reduktion von Unsicherheiten neue Unsicherheiten identifiziert werden, die den Produktentwickelnden zuvor nicht bewusst waren.

2.3.1.1 Bewusstsein für Unsicherheiten

OERDING (2009) beschreibt, dass es für den „Umgang mit dieser Unschärfe [mit der das Zielsystem und seine Elemente behaftet sind] [...] nur gelingen kann, wenn hierfür ein Bewusstsein entwickelt wird“²⁶ (Oerding, 2009, S. 104). Diese Unschärfe entsteht seiner Meinung nach durch Annahmen, die die Begründungen der Ziele darstellen und die es im Laufe der Entwicklung zu validieren gilt bzw. die zum bestehenden Zeitpunkt noch nicht validiert sind.

Im Bereich der Datenverarbeitung analysieren SKEELS, LEE, SMITH und ROBERTSON (2010) den Einfluss von Unsicherheit auf die Qualität der Ergebnisse. Dazu unterscheiden sie im Rahmen des Modells zur Beschreibung des *Bewusstseins für Unsicherheiten* wie auch HASTINGS und MCMANUS (2006) (vgl. Kapitel 2.3) entsprechend der Kenntnis hinsichtlich Wissens bzw. Unsicherheiten (vgl. Abbildung 2.43).

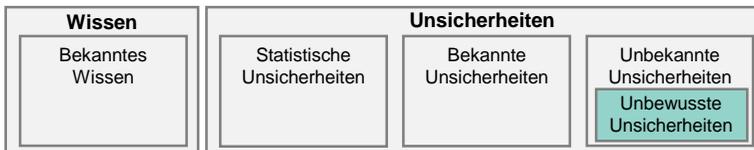


Abbildung 2.43: Unbewusste Unsicherheiten als Teilmenge der unbekanntem Unsicherheiten nach SKEELS et al. (2010, S. 7) (eigene Darstellung)

Dabei differenzieren sie zwischen Bekanntem Wissen (Known Knowns), Bekannten Unsicherheiten (Known Unknowns) und Nicht-Identifizierten Unsicherheiten (Unidentified Unknowns). Bekanntes Wissen beschreibt dabei, was tatsächlich bekannt

²⁶ Im Rahmen einer Vorstudie, in der 15 Fachexperten die Bedeutung verschiedener Faktoren für den Umgang mit Marktunsicherheiten bewerteten, stimmten 10 Teilnehmende der darauf aufbauenden These: Das Bewusstsein, dass Zielsystemelemente mit Marktunsicherheiten behaftet sein können, ist entscheidend für die Durchführung der Validierung und damit den Erfolg der Produktentwicklung, vollständig zu, 3 Teilnehmende stimmten teilweise zu und 2 lehnten die These ab.

ist. Bekannte Unsicherheiten betrachten SKEELS et al. (2010) entsprechend dem zuvor dargelegten Verständnis nach MCMANUS und HASTINGS (2006) als Unsicherheiten, die den relevanten Stakeholdern bekannt sind. Nicht-identifizierte Unsicherheiten sind Unsicherheiten, die zwar prinzipiell bekannt sein könnten, denen man sich jedoch nicht bewusst ist (Skeels et al., 2010), folglich werden sie auch als unbewusste Unsicherheiten bezeichnet. Aus Sicht des betrachteten Individuums sind sie eine Teilmenge der unbekanntenen Unsicherheiten.

SACHA, SENARATNE, KWON, ELLIS und KEIM (2016) führen darauf aufbauend aus, dass unbewusste Unsicherheiten für den Entwicklungsprozess am kritischsten sind, da Entwickelnde den dahinterstehenden Annahmen eher vertrauen und diese Unsicherheiten somit die Entwickelnde in die falsche Richtung oder auf die falsche Fährte führen können, obwohl dies prinzipiell vermeidbar wäre. Dies resultiert unter Umständen in einem hohen Zeitverlust im Entwicklungsprojekt. SKEELS et al. (2010) zielen infolgedessen darauf ab, die Unsicherheiten gezielt zu visualisieren, um das Bewusstsein für diese zu steigern und damit die Menge Nicht-identifizierter Unsicherheiten in die Menge der Bekannten Unsicherheiten zu überführen. Dieser Prozess lässt sich als Wissenstransfer beschreiben. Entsprechend dem erweiterten ZHO-Systemtripler (vgl. Abschnitt 2.1.2.5) beschreibt LOHMEYER (2013), wie Wissen von einer Person zu einer anderen transformiert werden kann (vgl. Abbildung 2.44).

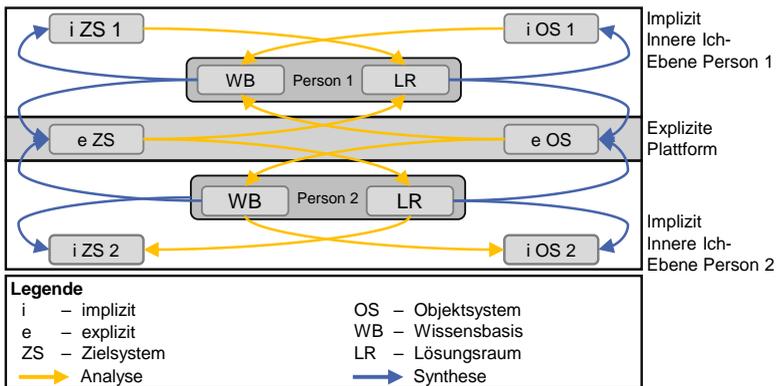


Abbildung 2.44: Beeinflussung der Wissensbasis eines Produktentwickelnden durch Austausch auf expliziter Plattform Interaktionsebene (Lohmeyer, 2013, S. 136)

Dabei weisen beide Personen – Person 1 und Person 2 – ihr eigenes, individuelles Handlungssystem, bestehend aus der individuellen Wissensbasis, dem individuellen Lösungsraum und jeweils ein implizites Ziel- und Objektsystem auf. Zusätzlich bestehen auf der Interaktionsebene ein explizites Ziel- und Objektsystem, über das jeweilige Informationen ausgetauscht werden können und die damit zur „Abbildung des gemeinsamen Denkens und Handelns im Team“ (Lohmeyer, 2013, S. 136) dienen. So kann beispielsweise ein Wissensaustausch als Transfer von Wissen über das explizite Objektsystem beschrieben werden, während die Synchronisierung der Lösungsräume über das explizite Zielsystem erfolgt (Albers, Turki & Lohmeyer, 2012). Entsprechend gilt: Ist Person 1 nun damit bedacht, in einer Entwicklung das Zielsystem für die Validierung zu synthetisieren, wird sie im ersten Schritt das vorliegende und explizierte Produktzielsystem hinsichtlich unsicherheitsbehafteter Annahmen analysieren. Dieses lässt sich entsprechend dem heuristischen Prinzip (vgl. Abschnitt 2.1.2.5) nach MEBOLDT (2009), wonach die Zuordnung von Artefakten zu den drei Teilsystem von der Betrachtungsperspektive abhängig ist, dem expliziten Objektsystem zuordnen. In Abhängigkeit ihrer persönlichen Wissensbasis wird sie nun Validierungsziele synthetisieren, die wiederum im Zielsystem (explizit und/oder implizit) abgebildet sind. Die Einschätzung hinsichtlich der Unsicherheiten hängt allerdings bislang ausschließlich von der Wissensbasis und damit dem Bewusstsein von Person 1 ab. Person 2 kann dadurch, dass sie gezielt Objekte im expliziten Objektsystem zur Verfügung stellt, auch ihr Wissen zur Verfügung stellen, wobei der Wissenstransfer erst durch die nachfolgende Analyse dieser Objekte durch Person 1 abgeschlossen wird. Dementsprechend kann Person 1 durch das transferierte Wissen bisher unbewusste Unsicherheiten in bekannte Unsicherheiten überführen (vgl. Abbildung 2.45).

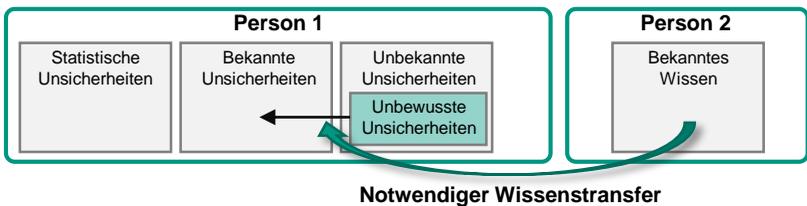


Abbildung 2.45: Darstellung potentieller Einflussnahme zur Überführung der unbewussten Unsicherheiten von unbekannt zu bekannt (eigene Darstellung)

2.3.1.2 Ansätze zum Umgang mit Marktunsicherheiten

In der Literatur wird eine Vielzahl an Ansätzen zum Umgang mit Marktunsicherheiten diskutiert, da ein systematischer Umgang mit den vorliegenden Unsicherheiten die damit verbundenen Risiken minimiert und demnach die Chancen hinsichtlich des Erfolgs der Produktentwicklung steigert (Cao et al., 2008). Im Rahmen des Zielsystem- und Anforderungsmanagements werden vorrangig Ansätze zur Bewertung der Elemente beschrieben, die bei der gezielten Identifikation von Unsicherheiten und Ableitung geeigneter Maßnahmen unterstützen. Hierbei sind beispielsweise die Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse (kurz: FMEA) (u.a. Hering & Schloske, 2019), deren Ziel die systematisch Vorhersage potentieller Ausfälle auf Basis einer Struktur- und Fehleranalyse ist, oder die verwandte Uncertainty-Mode and Effect-Analysis (kurz: UMEA) zu nennen. Fokus dieser und damit auch Abgrenzung zur FMEA sind die explizite Berücksichtigung und Abschätzung der Tragweite von Unsicherheiten (Engelhardt, Birkhofer, Klobardanz & Mathias, 2009).

ZIMMERMANN, KEMPF, LUTZ et al. (2021) abstrahieren im Rahmen eines Systematic Literature Reviews Ansätze zum Umgang mit Marktunsicherheiten aus relevanten Veröffentlichungen und analysieren diese im Hinblick auf die zuvor beschriebenen Ausprägungen und Ursachen von Marktunsicherheit (vgl. Abbildung 2.42). Die dabei identifizierten Ansätze sind in Tabelle 2.3 dargestellt.

Tabelle 2.3: Ansätze zum Umgang mit Marktunsicherheit nach ZIMMERMANN, KEMPF, LUTZ et al. (2021); eine Auflistung der nummerierten Quellen findet sich im Anhang der Arbeit in (vgl. Tabelle A.3)

Szenario Planung	Bei der Szenario-Planung werden in sich konsistente alternative Zukünfte abgeleitet und beschrieben.	
	• Wissensaufbau hinsichtlich künftiger Kundenbedürfnisse	43
	• Abschätzung künftiger Verkaufszahlen und Aufbau von Wissen hinsichtlich Nachfrage	19,44
	• Hilft, künftige Entwicklung der Rahmenbedingungen abzuschätzen und damit Wissen hinsichtlich der Marktcharakteristika aufzubauen.	45
Modular Design	Beim Modular Design werden Produkte aus verschiedenen Modulen gebildet, wobei die Eigenschaften der Produkte sich aus den Eigenschaften der einzelnen Module ergeben.	
	• Ermöglicht Flexibilität hinsichtlich Produkteigenschaften und damit die Möglichkeit, verschiedene Kundenbedürfnisse zu adressieren.	43

	<ul style="list-style-type: none"> • Ermöglicht, Änderungen der Produkteigenschaften vorzunehmen und damit auf Veränderungen (Zielkunden, Kundenbedürfnisse) reagieren zu können. 	46,47
	<ul style="list-style-type: none"> • Ermöglicht es, verschiedene Zielkunden mit ähnlichen Produkten zu adressieren und hilft somit bei fehlendem Markt- oder Anwendungswissen. 	10,35
	<ul style="list-style-type: none"> • Hilft, verschiedene Produktkonzepte zu vergleichen dadurch, dass das Produkt auf verschiedenen System- und Funktionsebenen analysiert werden kann. Dies hilft hinsichtlich der Analyse bezüglich der Erfüllung der Kundenbedürfnisse. 	24,29, 48
Verkürzung Time-to-Market	Eine Erhöhung der Geschwindigkeit in der Produktentwicklung wird in einigen Studien als Erfolgsfaktor wahrgenommen.	
	<ul style="list-style-type: none"> • Verkürzung der time-to-market – im Vergleich zu Wettbewerbern – hilft im Kontext neuer oder dynamischer Märkte bei Wissenslücken hinsichtlich des Verhaltens der Wettbewerber. Insbesondere wenn schnell Wissen aufgebaut wird. 	34,50
Kooperationen	Die Integration von externem Wissen in die Produktentwicklung, z.B. durch Zulieferer oder Kooperationen, stellt einen Erfolgsfaktor dar. Dabei variiert die Art und der Grad der Kooperation entsprechend den vorliegenden Rahmenbedingungen.	
	<ul style="list-style-type: none"> • Im Kontext neuer Märkte kann Marktunsicherheit durch das gemeinsame Setzen eines Standards reduziert werden. 	51
	<ul style="list-style-type: none"> • Integration von Zulieferern hilft, Wissen hinsichtlich Kundenbedürfnissen aufzubauen. 	52
	<ul style="list-style-type: none"> • Bei Veränderung von Kundenbedürfnissen, ausgelöst durch technologischen Wandel, oder durch Verhalten der Wettbewerber können Wissenslücken durch Kooperationen mit Wettbewerbern reduziert werden. 	53
	<ul style="list-style-type: none"> • In dynamischen Märkten, sollte auf Kooperationen und Auslagerung von Entwicklungsarbeiten verzichtet werden. 	17,54, 55
	<ul style="list-style-type: none"> • In neu aufkommenden Märkten empfiehlt sich ein Open-Innovation-Ansatz, um Wissen zu akquirieren. 	56
Lernstrategien	Lernstrategien beinhalten das Generieren, Speichern und Verbreiten von Wissen. Hierbei werden explorative und exploitative Lernstrategien unterschieden.	
	<ul style="list-style-type: none"> • Unterstützen besonders in dynamischen Märkten die Wissensgenerierung hinsichtlich Kundenbedürfnissen. 	57
	<ul style="list-style-type: none"> • Exploitative Lernstrategien werden im Zuge kurzer Produktlebenszyklen angewendet, um notwendiges Wissen zu generieren. 	58
	<ul style="list-style-type: none"> • Explorative Lernstrategien werden im Zuge neu aufkommender und dynamischer Märkte verwendet, um schnell ein möglichst diverses Wissen hinsichtlich der Marktcharakteristika und Kundenbedürfnisse aufzubauen. 	1,59

Kundenbeziehungen	Durch das Aufbauen und Pflegen von Kundenbeziehungen kann direkt Wissen generiert werden.	
	• Ein enger Kundenkontakt (z.B. Marketing und Vertrieb) unterstützt dabei, Wissen hinsichtlich des Zielmarkts und der Kundenbedürfnisse zu generieren.	5,15
	• Durch Kundenbefragungen kann Wissen hinsichtlich der Kundenbedürfnisse und der Wettbewerbssituation aufgebaut werden, auch im Kontext von Veränderung.	38, 62
Interdisziplinäre Produktentwicklung	Interdisziplinäre Produktentwicklung umfasst den Wissensaustausch und die Zusammenarbeit von Produktentwicklung und Marketing.	
	• Durch eine interdisziplinäre Kommunikation (beispielsweise über digitale Wissensplattformen) kann Wissen bzgl. Kundenbedürfnissen verfügbar gemacht werden.	16,23
	• Erfahrene Führungskräfte fördern diesen Austausch insbesondere im Kontext dynamischer Märkte	60
Unsicherheitsspezifische Produktentwicklung	Entscheidungen werden auf Basis der vorliegenden Unsicherheit getroffen. Basierend auf einer Bewertung der vorliegenden Unsicherheit wird Vorgehen oder Produktportfolio geplant.	
	• Um mit Marktunsicherheiten umzugehen, hilft eine umfassende Produkt- und Projektplanung zu einem frühen Zeitpunkt im Entwicklungsprozess.	9,14
	• Ein geeignetes Vorgehensmodell – Berücksichtigung von Iterationen – hilft beim Umgang mit Marktunsicherheiten . Durch die Identifikation der Unsicherheiten kann ein geeignetes Prozessmodell ausgewählt werden.	36
	• Klassifizierung der verschiedenen Produkte des Produktportfolios hilft beim Umgang mit Marktunsicherheiten dadurch, dass geeignete Prozessmodelle ausgewählt werden können.	61
	• Identifikation von Wissenslücken hinsichtlich rechtlicher Rahmenbedingungen, der Akzeptanz für neue Technologien oder Kundenbedürfnisse durch Bewertung definierter Kriterien und darauffolgender Wissensaufbau durch Marktanalysen oder Expertenbefragungen.	25

ZIMMERMANN, KEMPF, LUTZ et al. (2021) folgern auf Basis der Analyse der Ansätze, dass die Identifikation der vorliegenden Marktunsicherheiten von zentraler Bedeutung ist, um einen adäquaten Umgang mit diesen zu erzielen. Übergreifend lassen sich die gefundenen Ansätze in zwei unterschiedliche Cluster einteilen. So bestehen Ansätze, die primär den Aspekt der Marktunsicherheit adressieren, der aus der Veränderung resultiert. Diesem kann entweder durch eine Verkürzung der time-to-market entgegenwirkt oder durch das Generieren von Flexibilität (z.B. Modular Design) begegnet werden. Das andere Cluster umfasst Ansätze, bei denen durch die Generierung von Wissen der Umgang mit Wissenslücken adressiert wird (z.B. Lernstrategien).

2.3.2 Validierung: zentrale Aktivität zur Wissensgenerierung

Nach ALBERS (2010) ist die Validierung die zentrale Aktivität der Produktentwicklung, um Wissen zu generieren und damit Wissenslücken zu schließen bzw. Unsicherheiten zu reduzieren. Dergestalt trägt sie entscheidend dazu bei, den Erfolg eines Produkts am Markt sicherzustellen (Albers, Behrendt et al., 2016). Während in der Umgangssprache beiden Begriffen oftmals die gleiche Bedeutung zugemessen wird, muss im Kontext der Produktentwicklung die Validierung von der Verifikation unterschieden werden. So beschreibt die Verifikation entsprechend der VDI 2221 (VDI 2221, S. 11) die „Überprüfung [...] ob eine Realisierung mit der Spezifikation übereinstimmt“ also die „Beantwortung der Frage: *Wird das Produkt richtig entwickelt?*“. In der DIN EN ISO 9000, in der das Wort Verifizierung als Synonym für die Verifikation benutzt wird, wird diese definiert als: „Bestätigung durch Bereitstellung eines objektiven Nachweises [...], dass festgelegte Anforderungen [...] erfüllt worden sind“ (DIN EN ISO 9000:2015, S. 49). Im Hinblick auf das ZHO-Systemtripel (vgl. Abschnitt 2.1.2.5) bedeutet die Verifikation folglich den Abgleich der Elemente des Objektsystems mit denen des Zielsystems hinsichtlich der Konformität (Albers, Matros, Behrendt & Jetzinger, 2015, S. 77), ohne diese Elemente hinsichtlich ihrer „Richtigkeit“ zu überprüfen. Damit kann durch die Verifikation nicht sichergestellt werden, ob das definierte Zielsystem mit seinen Elementen aus Sicht der Kunden und Anwender überhaupt relevant ist (Albers & Düser, 2008; Albers, Behrendt et al., 2016), und folglich nicht die vorliegende Marktunsicherheit reduziert werden. Diese Relevanz kann nur durch die frühe und kontinuierliche Validierung sichergestellt werden (Albers, Geier, Merkel & Ott, 2009; Albers, Fischer, Klingler & Behrendt, 2014).

Die Validierung geht folglich über die Verifikation hinaus und bezeichnet in Anlehnung an die VDI 2221 die Überprüfung, „ob das Produkt für seinen Einsatzzweck geeignet ist bzw. den gewünschten Wert erzielt“ also die Beantwortung der Frage „*Wird das richtige Produkt entwickelt?*“ (VDI 2221, S. 10). Die DIN EN ISO 9000 definiert die Validierung als: „Bestätigung durch Bereitstellung eines objektiven Nachweises [...], dass die Anforderungen [...] für einen spezifischen beabsichtigten Gebrauch oder eine spezifische beabsichtigte Anwendung erfüllt worden sind“ (DIN EN ISO 9000:2015, S. 50) und zieht im Rahmen der Überprüfung ebenfalls den Einsatzzweck in Betracht. Folglich ist der reine Abgleich der Spezifikation mit dem entwickelten Produkt nicht ausreichend, um eine Aussage hinsichtlich der Validität zu tätigen, da es die Spezifikation als solche in Frage zu stellen gilt. Im Kontext des ZHO-Systemtripels bedeutet dies, das Hinterfragen der Elemente sowohl von Objekt- als auch von Zielsystem, wobei durch die Analyse des Objektsystems die Gültigkeit der Ziele untersucht wird. Dabei gilt es, sämtliche Stakeholder zu invol-

vieren, die in den Entwicklungsprozess involviert sind oder über den Erfolg des Produkts am Markt entscheiden. Dementsprechend sind neben dem Handlungssystem insbesondere Kunden und Anwender des Produkts zu berücksichtigen (Albers & Düser, 2008; Albers, Behrendt et al., 2016).

Die Bedeutung der Integration von Kunden und Anwendern in die Validierung, um die Qualität der Validierungsergebnisse und damit die Erfolgchance der Produktentwicklung zu steigern, ist Gegenstand vieler Forschungsarbeiten (u.a. Cooper, 1994; Gängl-Ehrenwerth, Faullant & Schwarz, 2013; Ponn & Lindemann, 2011). Jedoch wird im Rahmen dieser nur selten zwischen Kunden und Anwendern differenziert. In der Realität ist diese Trennung gleichwohl notwendig, da der Nutzen, den der Käufer bzw. der Kunde eines Produkts erfährt, nicht mit dem Nutzen, den der Anwender durch das Produkt erfährt, gleichzusetzen ist (Albers & Düser, 2011; Albers et al., 2014; Albers, Behrendt et al., 2016). Dies ist insbesondere bei B2B (Business to Business)-Produkten, zu denen eine Vielzahl der Produkte des anlagentechnischen Brandschutzes gehören, zu betrachten. Die Kunden- und Anwenderintegration stellt insbesondere hinsichtlich der Reduktion von Marktunsicherheiten einen relevanten Stellhebel dar (Gaubinger, Werani & Rabl, 2009), wobei diese Integration sowohl indirekt als auch direkt erfolgen kann (Heiss, 2010). Indirekte Integration umfasst dabei vornehmlich Kundenersatzmodelle unter Berücksichtigung von Marktanalysen oder Befragungen, wohingegen direkte Integration den Test von Produktmodellen beschreibt. In der Regel erlaubt die indirekte Integration keinen Zugang hinsichtlich impliziter Anforderungen. Die direkte Integration stellt dagegen durch die Konfrontation mit Produkten oder Prototypen einen Katalysator zur Explizierung impliziter Anforderungen dar (Gängl-Ehrenwerth et al., 2013, S. 76).

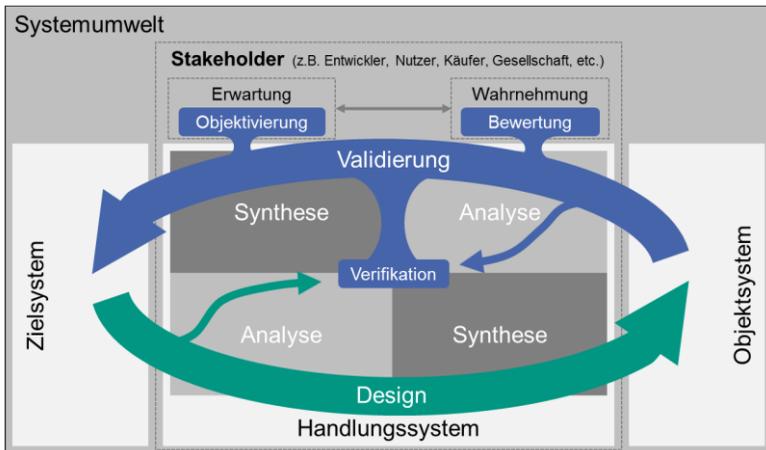
Zur weiterführenden Konkretisierung der Begriffe Validierung und Verifikation ordnen ALBERS, MATROS ET AL. (Albers, Matros et al., 2015) diese als konkrete Aktivitäten in das System der Produktentstehung ein, wobei sich dieses an dem erweiterten ZHO-Systemtripel (vgl. Abschnitt 2.1.2.5) orientiert (vgl. Abbildung 2.46) und das Handlungssystem dabei ein Teil des Systems der Stakeholder darstellt (Albers, Matros et al., 2015; Albers, Behrendt et al., 2016). Die Aktivität Validieren setzt sich gemäß diesem Verständnis aus den drei grundlegenden Aktivitäten zusammen:

- **Bewertung:** Die Aktivität Bewertung beschreibt die Untersuchung von Elementen des Objektsystems aus Sicht der relevanten Stakeholder. Demnach ist diese Bewertung überwiegend subjektiv (z.B. Signalisierung im Brandfall). Die zugehörige Analyse erfolgt auf Basis von Zahlenwerten objektiv (z. B. Lautstärke der Sirene bzw. Hupe).
- **Objektivierung:** Im Rahmen der Aktivität Objektivierung wird die Wiedergabetreue der Zielsystemelemente hinsichtlich der formulierten Stakeholder-

erwartungen geprüft. Dabei gilt es, einen Zusammenhang zwischen der subjektiven Bewertung und der quantitativen Bemessung der Zielgröße zu finden.

- **Verifikation:** Die Aktivität Verifikation bildet schließlich den Vergleich zwischen den Elementen des Zielsystems mit den Elementen des Objektsystems ab. Hierbei ist die Beurteilung der Konformität die Zielsetzung.

Folglich ist die Verifikation gemäß diesem Verständnis Teil der Validierung. Aussagen hinsichtlich der Validität können folglich lediglich getroffen werden, wenn sämtliche drei Teilaktivitäten vollständig durchgeführt worden sind.



* **Design** versteht sich übergreifend im Sinne von **Kreation**, so z.B. auch für Strategien, Produktprofile oder Servicelösungen

Abbildung 2.46: Design und Validierung dargestellt im System der Produktentstehung (Albers, Behrendt et al., 2016, S. 545)

Ferner lässt sich die Bedeutung der Validierung anhand der zur Fehlerbehebung entstehenden Kostenentwicklung entlang des Produktentstehungsprozesses darlegen. Dieser Zusammenhang wird in der Regel mit der Zehner-Regel beschrieben (Ehrlenspiel, 2009; Reinhart et al., 1996), die besagt, dass sich die Kosten, die anfallen, um einen auftretenden Fehler zu beheben, respektive die Änderungskosten je weiterer durchschrittener Entwicklungsphase um den Faktor 10 erhöhen (vgl. Abbildung 2.47). Dementsprechend gilt es, „Fehler“ früh im Entwicklungsprozess zu

identifizieren und zu beheben, um die Entwicklungskosten zu reduzieren, wobei viele Autoren in diesem Kontext die frühe Validierung als zentrale Aktivität zur „Fehlerfrüherkennung“ betrachten. Hierbei kann beobachtet werden, dass bei gleichbleibender Fehlerzahl ausschließlich durch eine zeitliche Verlagerung die Änderungen weniger Kosten verursachen und damit – auf das gesamte Entwicklungsvorhaben bezogen – eine Kostenreduktion erreicht werden kann (Klingler, 2016). Dies wird im Allgemeinen unter dem Begriff des Frontloadings diskutiert (Matthiesen et al., 2017).

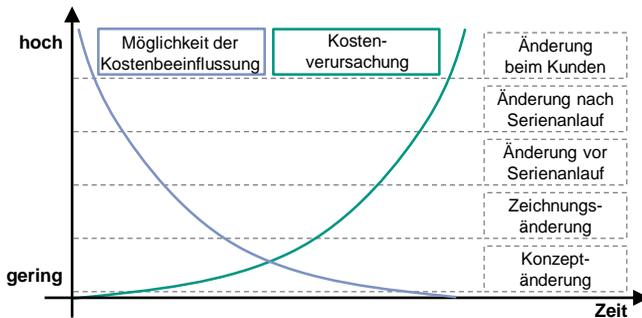


Abbildung 2.47: Darstellung der Kostenverursachung und der Möglichkeit der Kostenbeeinflussung entsprechend dem Zeitpunkt im Produktentwicklungsprozess (Ehrlenspiel & Meerkamm, 2013) in Anlehnung an (Reinhart et al., 1996)

Darüber hinaus erläutern einige Autoren (u.a. Cooper & Kleinschmidt, 1993; Grüner & Homburg, 1999; Verworn & Herstatt, 2007), dass die frühe Validierung mit Kunden und Anwendern nicht ausschließlich der Fehlerfrüherkennung und damit der Kostenreduktion dient, sondern sich vielmehr positiv auf den Markterfolg des zu entwickelnden Produkts auswirkt, da durch sie systematisch Marktunsicherheit reduziert werden kann. So werden durch die Validierung die definierten Zielsystemelemente hinsichtlich der Erfüllung des im Produktprofils definierten Nutzenbündels – bestehend aus Kunden-, Anbieter- und Anwendernutzen – hinterfragt. Damit kann eine Nachjustierung hinsichtlich der initial abgeleiteten Ziele und Anforderungen stattfinden und es kann gewährleistet werden, dass diese besser die realen Bedürfnisse von Kunden und Anwendern widerspiegeln (Albers, Behrendt et al., 2016).

Die Validierung ist folglich als eine Aktivität zur Wissensgenerierung und zur Reduktion von Unsicherheiten zu verstehen. Folglich gilt es, Validierung als eine im Rahmen der Produktentwicklung kontinuierliche auftretende Aktivität zu verstehen.

Nach ALBERS, BEHRENDT et al. (2016) ist die Verankerung dieser Aktivität im Entwicklungsprozess ein entscheidender Stellhebel zur Steigerung der Effizienz sowie Effektivität. Wie bereits erörtert, wird in den meisten bestehenden Prozessmodellen indes die Validierung als eigenständige, erst am Ende des Entwicklungsvorhabens durchgeführte, Aktivität angesehen (vgl. Abschnitt 2.1.2). Im Rahmen der agilen Entwicklung hat die Validierung allerdings einen anderen Stellenwert. So wird beispielsweise im Rahmen des ASD-Ansatzes (vgl. Abschnitt 2.1.3) die hohe Relevanz der Validierung für die Produktentwicklung hervorgehoben und dabei explizit herausgestellt, dass sie früh und kontinuierlich durchzuführen ist.

Die Bedeutung der frühen und kontinuierlichen Validierung stellen ALBERS, MATROS et al. (2015) durch die Gegenüberstellung der beiden prinzipiellen Vorgehensweisen Pull-Prinzip und Push-Prinzip heraus (vgl. Abbildung 2.48 oben). Im Rahmen des Push-Prinzips, das sich aus den klassischen phasenorientierten Ansätzen ergibt, wird die Abfolge der Entwicklungsaktivitäten durch eine rein sequenzielle Aufeinanderfolge verschiedener Aktivitäten beschrieben, wobei in der Regel aufbauend auf die Profilfindung, die Ideenfindung und die Modellierung von Prinzip und Gestalt durchgeführt werden, bevor nachgelagert die Validierung erfolgt. Dabei finden im Rahmen der Aktivität Validierung neben den primären Aktivitäten (Tests, Befragung etc.) ebenfalls sekundäre Aktivitäten zur Erstellung der Validierungsumgebung statt, da die Entwicklung der Validierungsumgebung bei der Durchführung der vorangegangenen Aktivitäten nicht mitbedacht wird.

Im Kontext des Pull-Prinzips ist die Validierung hingegen die zentrale, prozessbegleitende Aktivität, die als Auslöser weiterer Aktivitäten dient. So steht der Validierungsbedarf, der proaktiv auf Basis der Identifikation vorliegender Markt- und Technologieunsicherheiten abgeleitet wird, bei der Planung und Durchführung der Produktentwicklungsaktivitäten im Vordergrund. Im Rahmen jeder Syntheseaktivität wird also die Validierung mitbedacht und diese parallel zur eigentlich stattfindenden Entwicklung des Produkts realisiert. Dies wird durch eine Parallelisierung der primären und sekundären Aktivitäten abgebildet. Nach ALBERS, MATROS et al. (2015) folgt aus dieser Parallelisierung allerdings nicht ausschließlich eine Reduktion der Durchlaufzeit, vielmehr können durch die frühzeitige Ermittlung der Validierungsbedarfe Prototypen stärker hinsichtlich der Bedarfe gestaltet werden, wodurch sich die Aussagekraft der Validierung verbessert und gleichzeitig der Modellierungsaufwand reduziert wird. Darüber hinaus kann durch die Implementierung des Pull-Prinzips gewährleistet werden, dass durch die Validierung bereits früh im Entwicklungsprojekt Wissen generiert wird, wodurch Unsicherheiten reduziert werden. Damit wird die Wahrscheinlichkeit des Markterfolgs des Produkts gesteigert (Albers, Matros et al., 2015; Albers, Behrendt et al., 2016; Matros, 2016). Diese kontinuierliche Erweiterung der Wissensbasis führt bei der Entwicklung mehrerer aufeinanderfolgender

Produktgenerationen zu einem höheren Ausgangsniveau des Initialwissens, was dann wiederum in einer überproportionalen Wissenserweiterung mündet (Albers, Matros et al., 2015) (vgl. Abbildung 2.48 unten).

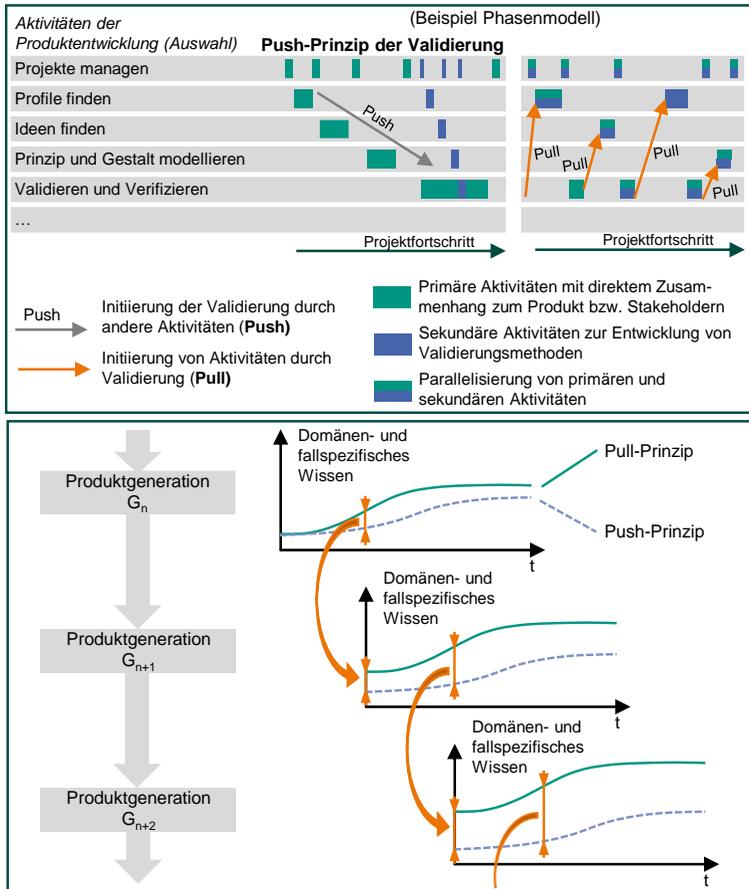


Abbildung 2.48: Oben: schematische Gegenüberstellung der Phasenmodelle des Push- und Pull-Prinzips der Validierung (Albers, Behrendt et al., 2016, S. 557) (eigene Darstellung); unten: Schematische Darstellung der überproportionalen Wissenserweiterung durch produktgenerationenübergreifende Anwendung des Pull-Prinzips der Validierung (Albers, Behrendt et al., 2016, S. 558)

Allerdings können aufgrund der vorliegenden Rahmenbedingungen hinsichtlich der Entwicklungszeit (time-to-market) und der verfügbaren Ressourcen nicht unbegrenzt Validierungsaktivitäten im Rahmen der Produktentwicklung durchgeführt werden (Albers, Behrendt et al., 2016; Klingler, 2016). Vielmehr muss eine Priorisierung der zu validierenden Artefakte wie Funktionen oder Teilsysteme erfolgen und damit ein effektives Vorgehen verfolgt werden. Es ist abzuwägen, welche Aspekte zu welchem Zeitpunkt validiert werden sollen. Zu diesem Zweck schlagen ALBERS, KLINGLER und WAGNER (2014) einen Ansatz zur Bewertung der Kritikalität vor, der in seinem Ursprung auf der Entwicklungsmatrix (vgl. Abschnitt 2.2.2.3) nach ALBERS, LOHMEYER et al. (2011) basiert. Die Bewertung erfolgt entsprechend den Dimensionen *Bekanntheit des Anwendungsszenarios*, *Bekanntheit der Technologie* und *Auswirkung des Funktionsversagens* und ermöglicht eine Auswahl der zu validierenden Produkteigenschaften, Funktionen oder der an der Funktion beteiligten Teilsysteme (vgl. Abbildung 2.49).

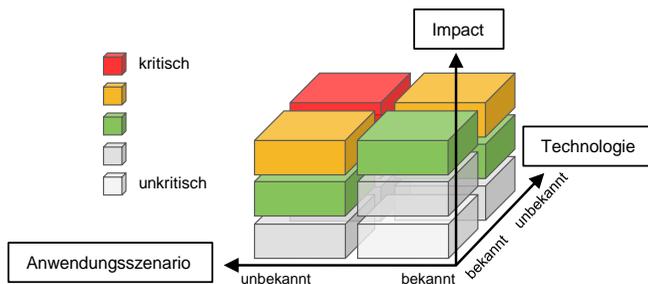


Abbildung 2.49: Kritikalitätsmatrix nach KLINGLER (2016) zur Priorisierung von Validierungsaktivitäten; Darstellung nach ALBERS, BEHRENDT et al. (2016, S. 552)

Dabei ist zu beachten, dass die Validierung von Teilsystemen ausschließlich unter Berücksichtigung des Gesamtsystems möglich ist, da das Produkt bei der Validierung entsprechend der zuvor dargelegten Definition ebendieser im Rahmen seines Einsatzzwecks hinsichtlich seiner Bedarfserfüllung zu überprüfen ist. Darüber hinaus können Funktionen oftmals nur im Zusammenspiel verschiedener Teilsysteme erfüllt werden. Dies steht indes im Widerspruch zu der Forderung nach einer frühen Durchführung der Aktivität Validierung, da zu einem frühen Zeitpunkt im Entwicklungsvorhaben oft nur Teilsysteme des Produkts, häufig auch nur mit einem geringen Reifegrad vorliegen. Diese Diskrepanz adressiert der IPEK-X-in-the-Loop-Ansatz (IPEK-XiL-Ansatz) nach ALBERS.

Der IPEK-XiL-Ansatz nach ALBERS (u.a. Albers & Düser, 2008; Düser, 2010) bietet einen durchgängigen methodischen Ansatz zur Unterstützung und Beschreibung von Validierungsaktivitäten und beschreibt in seinem Kern das grundlegende Verständnis, „ein technisches Produkt im Kontext seines Übersystems und in allen Wechselwirkungen mit parallelen Systemen, zum Beispiel mit dem Kunden, aber auch mit anderen agierenden Systemen ganzheitlich zu validieren“ (Albers in Düser, 2010). Hinsichtlich des zu untersuchenden Teilsystems X werden dabei zwei verschiedene Sichtweisen – System-in-Development (SiD) und System-under-Investigation (SuI) – unterschieden (Albers, Behrendt et al., 2016). Die Integration der Systeme, die mit dem zu validierenden Teilsystem in Wechselwirkung steht, kann physisch oder virtuell erfolgen, wodurch diverse Kombinationen von rein physischen über gemischt physisch-virtuellen bis hin zu rein virtuellen Validierungsaktivitäten durchgeführt werden können. Die Entscheidung, ob ein Teilsystem physisch oder virtuell integriert wird, ist dabei unter Berücksichtigung des Validierungsziels zu treffen.

Ein Validierungsziel beantwortet die Frage, zu welchem Zweck die Validierung durchgeführt bzw. der Testfall erstellt wird. Auf Basis einer empirischen Untersuchung verschiedener Validierungsaktivitäten leiten ALBERS, KLINGLER, PINNER und BEHRENDT (2015) diesbezüglich generische Validierungsziele ab, die zur Beschreibung sämtlicher Testfälle verwendet werden können. Die aus ihrer Sicht relevanten, zu unterscheidenden Validierungsziele sind:

- Einzelne quantifizierte Anforderungen
- Gewünschte Teilfunktion
- Gewünschte Gesamtfunktion
- Vollständige Bedarfserfüllung

2.3.2.1 Minimum Viable Products

Wie bereits dargelegt, ist die frühe Validierung von getroffenen Annahmen und Begründungen von Zielsystemelementen entscheidend, um systematisch Wissen zu generieren (u.a. Albers, 2010) und damit die Unsicherheit hinsichtlich der Validität dieser Zielsystemelemente zu reduzieren (Humpert, Röhm, Anacker, Dumitrescu & Anderl, 2022). Folglich stellt die frühe Validierung einen Erfolgsfaktor für die Produktentwicklung dar (vgl. u.a. Albers, Behrendt et al., 2016). Allerdings stellen viele Autoren fest, dass in der industriellen Praxis insbesondere in Bezug auf einen frühen Zeitpunkt im Entwicklungsprojekt und mit Fokus auf getroffene und in Form von Zielen und Anforderungen dokumentierte Annahmen häufig nicht validiert wird (u.a. Bubenko, 1995; Karlsson, Dahlstedt & Natt och Dag, 2002; Sutcliffe, 1996). BUBENKO (1995) führt diesbezüglich in seinen Arbeiten des Anforderungsmanage-

ments aus, dass beobachtet werden kann, dass ein Großteil der getroffenen Annahmen hinsichtlich der Kundenbedürfnisse in Anforderungen überführt, technisch spezifiziert und entsprechende Lösungen generiert werden, jedoch ohne dass die Anforderungen und zugehörigen Annahmen validiert werden. Auch KARLSSON (2002) hebt hervor, dass dem Abgleich des zu entwickelnden Produkts bzw. der definierten Ziele und Anforderungen in der industriellen Praxis zu wenig Aufmerksamkeit geschenkt wird. SUTCLIFFE (1996) führt dahingehend aus, dass die Validierung als Solche von den Produktentwickelnden in der industriellen Praxis häufig nur unzureichend ausgeführt wird, da der Sinn bzw. die Bedeutung dieser, aber auch das Vorgehen als solches nicht ausreichend verstanden werden.

In den Start-Ups der Softwareentwicklung etablierte sich in den vergangenen Jahren der Ansatz der Minimum Viable Products (MVPs) zur Förderung der frühen Validierung von Kundenbedürfnissen. Die erste MVP-Entwicklung wird auf das amerikanische E-Commerce Start-Up Zappos mit seinem Begründer Nick Swinmurn zurückgeführt. Im Jahr 1999 hatte er das Ziel, Schuhe über das Internet zu verkaufen. Da er sich jedoch sträubte, das finanzielle Risiko einzugehen, Lagerfläche anzumieten und Schuhe in sämtlichen Farbvarianten und Größen vorab zu kaufen, ging er in umliegende lokale Schuhläden, fotografierte Schuhe, ohne sie jedoch zu kaufen und bot sie auf einer programmierten Website zum Verkauf an. Erst nachdem die Schuhe über die Website verkauft wurden, kaufte er sie im Laden und versendete sie an seine Kunden. Bereits im Jahr 2008 knackte das Unternehmen die Umsatzmarke von einer Milliarde Dollar, bevor es 2009 an Amazon verkauft wurde (Kilpatrick, 2017; Ponomarev, 2019; Żółciak, 2018).

Es wird deutlich, dass dieses Beispiel eine implizite Verkörperung des zuvor eingeführten Verständnisses des IPEK-XiL-Ansatzes darstellt, ein Produkt bzw. im Falle des Beispiels vielmehr ein zugehöriges Geschäftsmodell als Teil des Produkts „im Kontext seines Übersystems [...] mit dem Kunden [...] ganzheitlich zu validieren“ (Albers in Düser, 2010). Dementsprechend lassen sich der IPEX-XiL Forschung vergleichbare Beispiele entnehmen. So wurde beispielsweise ein „Hybrid-Erlebnis-Prototyp“ aufgebaut, um diverse Kombinationen von Hybridantrieben erlebbar zu machen. Dabei verfügt dieser „Hybrid-Erlebnis-Prototyp“ über einen rein elektrischen Antriebsstrang mit einer hohen Systemleistung, wobei durch ein virtuelles Modell das Fahrverhalten entsprechend dem zu testenden Antriebskonzept angepasst und durch einen Soundgenerator das Geräusch eines Verbrennungsmotors im Fahrzeuginnenraum wiedergegeben wird. Dementsprechend ermöglicht dieser „Hybrid-Erlebnis-Prototyp“ auf Basis eines bestehenden elektrischen Fahrzeugs Kunden, bisher nicht entwickelte Fahrzeuge mit Hybrid-Antrieb zu erleben und eröffnet dadurch den Entwickelnden die Möglichkeit, entsprechende Konzepte zu validieren (Albers, Matros et al., 2018).

Der Begriff *viable* in Minimum Viable Product lässt sich mit lebensfähig, rentabel, aber auch anwendungs- oder entwicklungsfähig übersetzen (Linguee Dictionary, 2020) und ist infolgedessen nicht trennscharf definiert. Auch der Terminus MVP selbst ist nicht eindeutig definiert, sondern vielmehr variiert die Definition entsprechend dem Betrachtungskontext. Dies legen LENARDUZZI und TAIBI (2016) im Rahmen einer Literaturanalyse dar. Die Analyse ergibt, dass der Begriff MVP erstmalig von ROBINSON (2001) verwendet wurde, wobei im Rahmen seiner Arbeiten der Begriff Minimum Viable Product kein Produkt als solches beschreibt, sondern vielmehr eine Strategie zur Erstellung und zum Verkauf eines Produkts mit einer möglichst hohen Rendite. Die Strategie basiert dabei auf der Annahme, dass die Rendite eines Produkts direkt von der Anzahl der implementierten Funktionen abhängt. So steigt das Risiko des Anbieters, wenn ein Produkt mit zu vielen Funktionen am Markt angeboten wird, da der Aufwand für die Entwicklung und Herstellung dieser Funktionen hoch ist. Zwar ist die Chance einer noch höheren Rendite gegeben, allerdings steigt gleichzeitig das Risiko überproportional an. Demgegenüber nimmt ROBINSON an, dass Produkte mit lediglich wenigen Funktionen am Markt nicht bestehen können. Diesen Zusammenhang stellt er im Rahmen eines Ertrags-Risiko-Modells dar (vgl. Abbildung 2.50), wobei die grünen Felder, die nach ROBINSON das optimale Chancen-Risiko-Verhältnis aufweisen, durch die MVP-Strategie abgedeckt werden.

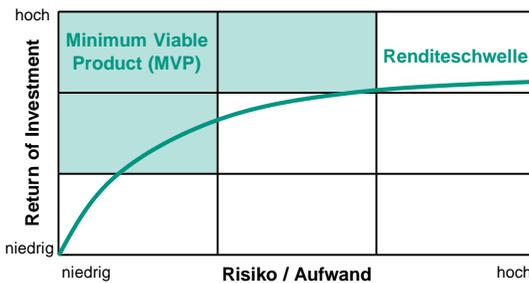


Abbildung 2.50: Ertrags-Risiko-Modell nach ROBINSON (2001). Produkte mit wenigen Funktionen weisen ein niedriges Risiko/Aufwand-Verhältnis auf.

Auch nach BLANK (2010) verbirgt sich hinter dem Begriff MVP eine Strategie zur Entwicklung von Produkten. Der Fokus seiner Betrachtung richtet sich jedoch auf die Vermeidung von Verschwendung. Entsprechend seiner Sichtweise umfasst ein MVP lediglich die Eigenschaften, die zum Einsatz des Produkts notwendig sind. Mit

einem derartigen Produkt werden insbesondere frühe, visionäre Kunden adressiert, wohingegen erst spätere Produktgenerationen für die breite Masse der Zielkunden von Relevanz sind.

RIES (2009, 2011b) hingegen erachtet ein MVP als ein Produkt. Er definiert ein MVP als: „die Version eines neuen Produkts, das es einem Team ermöglicht, mit dem geringsten Aufwand ein Maximum an validiertem Wissen über Kunden zu sammeln“ (Ries, 2011b, S. 77, eigene Übersetzung). Dabei beschreibt er, dass im Rahmen der Produktentwicklung Annahmen bezüglich des Markts und der Kunden getroffen werden müssen, die das Produkt in seinen Eigenschaften beeinflussen, ohne zu wissen, ob diese Annahmen auch zutreffend sind. RIES bezeichnet diese dabei als „Annahmen mit Vertrauensvorschuss“ (Ries, 2019, S. 74), und versteht darunter beispielsweise Hypothesen hinsichtlich des Kundennutzens, der Zahlungsbereitschaft von Kunden oder hinsichtlich des Wachstums des Zielmarkts. Durch den Einsatz von MVPs soll Wissen bezüglich der Validität dieser „Annahmen mit Vertrauensvorschuss“ generiert und damit die vorliegende Unsicherheit reduziert werden. Bei Bedarf können diese Annahmen für die weitere Entwicklung angepasst werden. Nach RIES ist es entscheidend, dass zur Reduktion dieser Unsicherheiten nicht auf unternehmensinterne Quellen zurückgegriffen wird, sondern vielmehr die Rückmeldung potentieller Kunden aufgenommen werden muss, wobei diese Rückmeldungen in Form objektivierter Kennzahlen den Entwickelnden zur Verfügung gestellt werden müssen. Nach RIES umfasst der Begriff *minimal* den Aufwand, mit dem das MVP erstellt bzw. die Validierung als solche durchgeführt werden soll. MISKI (2014) spezifiziert dies weitergehend und beschreibt, dass insbesondere der Einsatz an Ressourcen gering zu halten ist. Im Gegensatz dazu beschreiben andere Autoren entsprechend der Auffassung nach BLANK (2010), dass ein MVP lediglich einen minimal ausgeprägten Funktionsumfang aufweist (Björk, Ljungblad & Bosch, 2013). RIES (2019) beschreibt weiter, dass ein MVP sich vorrangig zur Validierung von Hypothesen hinsichtlich Kundenanforderungen und -bedürfnissen eignet und weniger zur Validierung von Technologien oder Materialien und differenziert damit zwischen einem MVP und einem Prototyp, „der als Mittel zum Wissenserwerb“ (Hallmann, 1990, S. 46) unabhängig der Fragestellung eingesetzt wird. Folglich stellt ein MVP einen spezifischen Anwendungsfall eines Prototyps dar.

Sämtliche weiteren Definitionen hinsichtlich des Begriffs MVP bauen in ihrem Kern zumindest auf einer der vorherigen Definitionen auf, adressieren indes weitere Aspekte, wie dass ein MVP Kapitalflüsse erzeugt (Poole, 2012) oder dass ein MVP gerade rentabel ist (Moogk, 2012), also das MVP als solches an Kunden verkauft wird. Diese Definitionen entstammen aber vornehmlich dem Feld der Softwareentwicklung, wobei anzumerken ist, dass im Rahmen dieser nachträglich weitere Funktionen beispielsweise durch Updates in ein Produkt integriert werden können. In der

Mechatroniksystementwicklung und insbesondere in der Entwicklung sicherheitsrelevanter Systeme wie beispielsweise des anlagentechnischen Brandschutzes ist ein derartiges Vorgehen jedoch nur bedingt möglich.

Demgemäß wird nachfolgend unter einem *Minimum Viable Product* der Prototyp eines Produkts verstanden, mithilfe dessen systematisch Annahmen hinsichtlich des Nutzenbündels bestehend aus Kunden- und Anwendernutzen bzw. daraus gefolgte Produktzielsystemelemente validiert werden können, mit dem Ziel Wissen zu generieren, wobei der Reifegrad eines MVPs so gering wie möglich, aber so hoch wie notwendig zu wählen ist, um die adressierten Validierungsziele zu erreichen.

In der Literatur werden verschiedene Arten diskutiert, wie MVPs aufgebaut werden. Die nachfolgende Tabelle 2.4 gibt eine Übersicht über diverse MVPs.

Tabelle 2.4: Diverse in der Literatur beschriebene MVPs; Verständnis entsprechend (Bland & Osterwalder, 2020; Ries, 2019)

Minimum Viable Product	Kurzbeschreibung
Video	Ziel ist es, die Kunden- und Anwenderbedürfnisse kurz darzustellen und wie das zu entwickelnde Produkt diese lösen soll.
Storytelling	Erzählmethode, bei der mithilfe von fiktiven Geschichten über potentielle Kunden oder Anwender, deren Anwendungen, Bedürfnisse und ein potentielles Produkt-Feedback eingeholt werden kann.
Produktinformationsblatt	Enthält die aus Kunden- und Anwendersicht wichtigsten Informationen des zu entwickelnden Produkts (Beschreibung von Anwendungsfällen, Produkteigenschaften, Kunden- und Anwendernutzens etc.), wobei das Augenmerk auf den zu validierenden Eigenschaften liegt. So kann z.B. ein Zielpreis eingefügt werden, wenn Unsicherheiten bzgl. der Zahlungsbereitschaft bestehen.
Zeichnung, Skizze, Foto	Produktzeichnungen, -skizzen oder -fotos eignen sich für kostengünstige Iterationen insbesondere zu einem frühen Zeitpunkt. Es kann sich dabei um eine einfache Abbildung des Produkts handeln oder die Abbildung verschiedener Funktionszusammenhänge.
Wireframe	Ein Wireframe ist eine vereinfachte Repräsentation des Designs von Bedienelementen oder Schaltflächen. Sie eignen sich besonders zur Validierung digitaler User-Interfaces oder Bedienkonzepte physischer Produkte.
Mockup	Ein Mockup dient demselben Einsatzzweck wie ein Wireframe und ist eine Alternative zur Validierung von Benutzeroberflächen mit Fokus Typografie, Farben oder Symbole. Stellt eine Möglichkeit dar, digital ein Wireframe aufzubauen.

Landing-Page	Eine Landing-Page ist eine Webseite, auf welcher Kunden und Anwender nach Anklicken eines Links aus einer Kampagne (beispielsweise eine E-Mail) landen. In dieser Kampagne wird Kunden und Anwendern das künftige Produkt und sein Nutzen dargestellt. In einem Kontaktfeld kann Feedback angegeben oder zur Quantifizierung der Nachfrage das Produkt bestellt werden.
Pretend to own	Es wird vorgegeben, ein Produkt bereits anbieten zu können. Tatsächlich ist das Unternehmen dazu jedoch nicht in der Lage, sondern bezieht dieses von externer Stelle. Ziel ist es zu verstehen, welche Resonanz dem Produkt entgegenkommt, um daraus Erkenntnisse für die Entwicklung des eigenen Produkts abzuleiten.
Concierge MVP	Ein zu automatisierendes Produkt oder Dienstleistung wird Kunden und Anwendern zur Verfügung gestellt, ohne dass die Prozesse bereits automatisiert wurden, sondern vielmehr manuell durchgeführt werden. Dadurch wird die Validierung des Nutzens möglich.
Wizard of Oz	Ein Wizard of Oz ist ein MVP, das wie ein echtes Produkt aussieht, jedoch nur bedingt funktionsfähig ist. Ziel eines Wizard of Ozs ist es, den Gesamtnutzen eines Produkts zu validieren.
Pie-cemeal	Das Piecemeal ist nahezu identisch mit dem Wizard of Oz. Allerdings werden dabei Aufgaben und Tätigkeiten mit bereits verfügbaren Werkzeugen bearbeitet. So werden beispielsweise physische Produkte in bereits bestehende Produkte integriert.
Open Hardware Plattform	Bei einer Open-Hardware-Plattform handelt es sich um Entwicklungsboards, mit denen nach frei verfügbaren Bauplänen Hardware hergestellt werden kann. Es eignet sich insbesondere zur Validierung von elektromechanischen Lösungen.
Single-Feature MVP	Ein Single Feature MVP fokussiert auf genau eine einzige Funktion des Endprodukts, die im Fokus der Validierung steht. Dabei ist es entscheidend, die Produktfunktion möglichst detailliert abzubilden.
3D-Rapid-Prototyping	Beim 3-D-Prototyping werden dreidimensionale Darstellungen als skaliertes oder maßstabsgetreues Modell schnell hergestellt. Ziel ist die Validierung physischer Aspekte des Produktkonzepts.

In der Praxis kann beobachtet werden, dass verschiedene der zuvor in der Tabelle dargelegten MVPs miteinander kombiniert werden, um das angedachte Validierungsziel zu erreichen. So wurde beispielsweise bei der Cloud-Plattform *Dropbox* ebenfalls früh im Entwicklungsvorhaben ein MVP vor dem Hintergrund entwickelt, Entwicklungsaufwände erst zu realisieren, wenn die zentralen Annahmen bzgl. des Kundennutzens validiert sind. Dazu setzten die Entwickelnden ein digitales Mockup um, das verschiedene Anwendungsfälle abbildete, wobei die Cloudfunktion nicht realisiert wurde, sondern Daten vielmehr manuell transferiert wurden. Darauf aufbauend wurde ein Bildschirmvideo gedreht, das im Anschluss potentiellen Kunden zur Verfügung gestellt wurde, um die Anwendungsfälle, die zugehörige technische Lösung und den entsprechenden Nutzen zugänglich zu machen. Um die Validierung und das Interesse potentieller Kunden zu objektivieren, integrierten sie in das Video den Link zu einer Website (Landingpage), auf der potentielle Kunden bei Interesse

ihre Kontaktdaten hinterlassen konnten. Dementsprechend gelang den Entwicklern durch die Kombination verschiedener MVPs, Annahmen hinsichtlich des Kundennutzens und des Marktpotentials zu validieren (Ries, 2009, 2011a, 2019).

Zur Auswahl geeigneter MVPs schlagen OSTERWALDER und BLAND (2020) eine Bewertung der vorliegenden Entwicklungssituation vor. Dabei bewerten sie die verschiedenen MVPs hinsichtlich der Beweisstärke und des Aufwands, der damit einhergeht. Zur Unterstützung der Auswahl ordnen sie sämtliche relevanten MVPs in einem Portfolio ein, wobei auf der vertikalen Achse die Beweisstärke und auf der horizontalen Achse der zeitliche Aufwand zur Erstellung des MVPs und zur Durchführung des Experiments abgebildet ist. Durch die Größe der Datenpunkte im Portfolio werden die mit dem MVP verbundenen monetären Kosten abgebildet. Darüber hinaus ordnen sie separat die verschiedenen MVPs und Validierungsexperimente geeigneten Themen (z.B. Rentabilität, Erwünschtheit), Zielkunden (z.B. B2B oder B2C) und Produktkategorien (z.B. Hardware, Software, Dienstleistung) zu.

Der SPALTEN-Problemlösungsprozess eignet sich zur Methodenauswahl (vgl. Methodenauswahl im iPeM 2.1.2.5) und damit zur Auswahl geeigneter Validierungsmethoden (vgl. Abbildung 2.51).

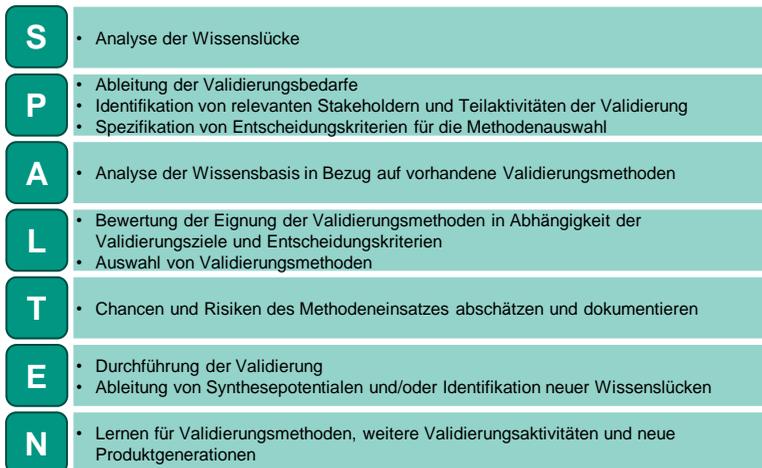


Abbildung 2.51: SPALTEN-Prozess der Validierung zur Auswahl von Validierungsmethoden (Albers, Behrendt et al., 2016, S. 550)

Diesbezüglich ist anzumerken, dass Validierungsaktivitäten als Problemlösungsprozess verstanden und folglich mit dem SPALTEN-Problemlösungsprozess (vgl. Abschnitt 2.1.2.5) beschrieben werden können. Demnach unterstützt der SPALTEN-Prozess der Validierung (vgl. Abbildung 2.51) die gezielte Auswahl geeigneter Validierungsmethoden. Dabei werden in der Situationsanalyse und der Problemeingrenzung die kritischen Systemkomponenten oder Funktionen identifiziert. Der Testfall und die Validierungsumgebung werden im Rahmen der Mikroaktivitäten Alternative Lösungen, Lösungsauswahl und Tragweitenanalyse ausgewählt bzw. generiert. Im Rahmen der Mikroaktivitäten Entscheiden und Umsetzen und Nachbereiten und Lernen erfolgt sowohl die eigentliche Durchführung der Validierung als auch die Dokumentation und Interpretation der Ergebnisse (Albers, Behrendt et al., 2016).

2.3.3 Zwischenfazit

Die Produktentwicklung stellt stets ein mit Unsicherheiten behaftetes System dar. So unterliegen die Zielsystemelemente und die dahinterstehenden Annahmen immer Unsicherheiten, wobei diese – beispielsweise hinsichtlich ihres Ursprungs oder ihrer Auswirkungen – vielfältig sind. So kann unter anderem zwischen Technologie- und Marktunsicherheiten unterschieden werden, wobei Marktunsicherheiten als Wissens- und Definitionslücken in Bezug auf Kunden und Anwender, deren Bedürfnisse und Anwendungen beschrieben werden können, die folglich die Validität der Zielsystemelemente beeinflussen. Die Vielfältigkeit der vorliegenden Unsicherheiten erschwert die Identifikation ebendieser, dennoch ist ein adäquater Umgang entscheidend, da dieser den Erfolg der Produktentwicklung maßgeblich beeinflusst. In der Literatur wird eine Vielzahl von Ansätzen zum Umgang mit Marktunsicherheiten beschrieben, wobei die frühe und kontinuierliche Validierung die zentrale Aktivität zur Wissensgenerierung und damit zur Reduktion von Unsicherheiten darstellt. Allerdings kann konstatiert werden, dass insbesondere das Bewusstsein der Produktentwickelnden hinsichtlich der vorliegenden Unsicherheiten gewährleistet sein muss, da sonst kein adäquater Umgang mit diesen sichergestellt werden kann.

2.4 Fazit

Aufbauend auf der Betrachtung verschiedener Innovationsverständnisse (u.a. nach SCHUMPETER, ALBERS, DISSELKAMP, HENDERSON & CLARK) konnte dargelegt werden, dass die Innovation die Motivation der Produktentwicklung darstellt, wobei es zur Steigerung des Innovationspotentials eines geeigneten Prozessmodells bedarf. Nach ALBERS ist jeder Produktentwicklungsprozess, insbesondere in Bezug auf die erforderliche Wissensarbeit, einzigartig und individuell. Diese Tatsache begründet die Notwendigkeit der Berücksichtigung von Iterationen, die bei systemischer Betrachtung der Produktentwicklung im ZHO-Systemtripel durch die parallele, von Wechselwirkungen geprägte Entwicklung von Ziel- und Objektsystem beschrieben werden kann. Dabei lässt sich die Produktentwicklung entsprechend dem ZHO-Systemtripel durch die Überführung eines zunächst beliebig vage formulierten initialen Zielsystems in ein Objektsystem beschreiben, wobei die Überführung durch ein geeignetes Handlungssystem erfolgt. Die Entwicklung des initialen Zielsystems basiert auf den Aktivitäten *Initiales Zielsystem ableiten*, *Initiales Zielsystem erweitern und konkretisieren*, *Initiales Zielsystem bewerten* und *Initiales Zielsystem validieren*. Zurückzuführen ist die Einzigartigkeit der Wissensarbeit unter anderem darauf, dass die Produktentwicklung ein mit Unsicherheiten behaftetes System darstellt, wobei ebendiese durch Wissens- und Definitionslücken beschrieben werden können. Dabei sind die vorliegenden Unsicherheiten vielfältig. So können beispielsweise entsprechend dem Ursprung Technologie- und Marktunsicherheiten unterschieden werden, wobei Marktunsicherheiten wiederum verschiedene Ausprägungen – beispielsweise Wissens- oder Definitionslücken hinsichtlich der Kundenbedürfnisse – annehmen können und auf diverse Ursachen zurückführbar sind. Um das Innovationspotential der Produktentwicklung zu steigern, bedarf es eines systematischen Umgangs mit den vorliegenden Marktunsicherheiten, der primär die Identifikation und Reduktion ebendieser umfasst. Diesbezüglich konnten verschiedene Ansätze wie beispielsweise explorative und exploitative Lernstrategien oder Modulares Design identifiziert werden, die beim Umgang mit Marktunsicherheiten unterstützen. Speziell der Stellenwert der Validierung als zentrale Aktivität der Produktentwicklung zur Generierung von Wissen und damit zur Reduktion von Unsicherheiten wird in diesem Kontext hervorgehoben. Allerdings muss berücksichtigt werden, dass ein mangelndes Bewusstsein der Produktentwickelnden für die vorliegenden Marktunsicherheiten einen diese Aktivität limitierenden Faktor darstellt. Somit stellt die explizite Adressierung des Bewusstseins der Produktentwickelnden für die vorliegenden Marktunsicherheiten einen zentralen Bedarf dar, den es neben der Berücksichtigung von bestehenden Referenzen beim Umgang mit Marktunsicherheiten bei der Entwicklung des initialen Zielsystems – also den Aktivitäten *Initiales Zielsystem ableiten*, *Initiales Zielsystem erweitern und konkretisieren*, *Initiales Zielsystem bewerten* und *Initiales Zielsystem validieren* – zu berücksichtigen gilt.

3 Zielsetzung und Vorgehensweise

In diesem Kapitel wird zunächst auf Basis des Forschungsbedarfs die Zielsetzung der vorliegenden Arbeit dargestellt. Darauf aufbauend werden die Forschungshypothese und die Forschungsfragen zur Operationalisierung der Forschung abgeleitet und schließlich das Vorgehen zur Beantwortung ebendieser beschrieben.

3.1 Forschungsbedarf und Zielsetzung der Arbeit

Wie zuvor in Kapitel 2 ausgeführt, ist für entwickelnde Unternehmen von entscheidender Bedeutung, erfolgreiche Produkte im Markt zu etablieren, um langfristig bestehen zu können (Hippel, 2007). Diese erfolgreiche Etablierung wird im Allgemeinen als Innovation bezeichnet, wobei eine Innovation neben einer Invention und einer erfolgreichen Markteinführung ebenfalls der Beschreibung des antizipierten Nutzenbündels in Form des Produktprofils bedarf (Albers, Heimicke, Hirschter et al., 2018). Im Rahmen der Produktentwicklung besteht eine Vielzahl an Unsicherheiten hinsichtlich der Bestandteile der Innovation, die durch Wissens- und Definitionslücken beschrieben werden können. WIEBEL et al. (2013) führen aus, dass Unsicherheiten nicht zu vermeiden sind, aber ein adäquater Umgang mit diesen für den Erfolg der Produktentwicklung relevant ist. Unsicherheiten bestehen beispielsweise hinsichtlich der Machbarkeit in Bezug auf die gewählten Technologien, aber auch hinsichtlich des Erfolgs des definierten Produkts im Markt – den sogenannten Marktunsicherheiten. Demzufolge finden sich diese Unsicherheiten bei Betrachtung der Elemente des Zielsystems wieder, da das Produkt als solches als Teil des Objektsystems durch das Handlungssystem auf Basis des Zielsystems synthetisiert wird. Marktunsicherheiten umfassen insbesondere Wissens- und Definitionslücken hinsichtlich der Annahmen und Begründung der Zielsystemelemente, also vorwiegende Elemente des im Produktprofil beschriebenen Nutzenbündels.

Im Zuge der Zielsystementwicklung wird diesbezüglich auf den Stellenwert der frühen und kontinuierlichen Validierung der getroffenen Annahmen verwiesen, um die vorliegenden Unsicherheiten zu reduzieren und damit das Innovationspotential des zu entwickelnden Produkts zu erhöhen. ALBERS (2010) stellt diesbezüglich die Validierung als die zentrale Aktivität zur Generierung von Wissen und damit zur Reduktion von Unsicherheiten heraus. Darüber hinaus etabliert er mit dem Modell der PGE – Produktgenerationsentwicklung einen Ansatz, der das Wissensmanagement und damit den Umgang mit Unsicherheiten durch die Entwicklung von Produkten auf

Basis von Referenzen unterstützt. Zusätzlich wird in der Literatur eine Vielzahl an Ansätzen und Methoden diskutiert, die dabei unterstützen, die bestehenden Wissens- und Definitionslücken hinsichtlich der Bedürfnisse von Kunden und Anwendern im Rahmen der Zielsystementwicklung zu schließen. Allerdings müssen den Produktentwickelnden die vorliegenden Unsicherheiten ausreichend bewusst sein, damit die Ansätze zum Umgang mit diesen Unsicherheiten im Rahmen der Zielsystementwicklung adäquat verwendet werden.

Erste Beobachtungen zeigen jedoch, dass diese Ansätze zum Umgang mit Marktunsicherheiten in der Untersuchungsumgebung lediglich bedingt Anwendung finden. Insbesondere hinsichtlich des Stellenwerts der Aktivität Validierung, die im Stand der Forschung als die zentrale Aktivität zur Generierung von Wissen und damit zur Reduktion von Unsicherheiten im Rahmen der Zielsystementwicklung betrachtet wird, besteht diesbezüglich eine Diskrepanz. So ist der Stellenwert der Validierung in der Untersuchungsumgebung Hekatron Brandschutz eher gering, wie tiefergehende Studien (vgl. Kapitel 4) belegen. Als zentraler Faktor, den es diesbezüglich zu adressieren gilt, wird das fehlende Bewusstsein der Produktentwickelnden für die vorliegenden Marktunsicherheiten identifiziert.

Demnach fokussiert der Schlüsselgedanke der vorliegenden Arbeit primär die Unterstützung der initialen Zielsystementwicklung hinsichtlich des Umgangs mit Marktunsicherheiten, wobei es dazu das Bewusstsein der Produktentwickelnden hinsichtlich dieser Unsicherheiten zu sensibilisieren gilt, um damit die frühe und kontinuierliche Validierung zu fördern. Dabei sind Methoden zur initialen Zielsystementwicklung unter Verwendung des Modells der PGE – Produktgenerationsentwicklung hinsichtlich eines effizienten Wissensmanagements zu synthetisieren, wobei das Potential bestehender Referenzen zum Umgang mit Marktunsicherheit genutzt wird. Daraus lässt sich die folgende Zielsetzung ableiten:

Zielsetzung:

Ziel der Arbeit ist es, Produktentwickelnde mit Methoden systematisch bei der Entwicklung von anlagentechnischem Brandschutz hinsichtlich des Umgangs mit Marktunsicherheiten bei der initialen Zielsystementwicklung zu unterstützen.

Dazu soll untersucht werden, wie das Bewusstsein der Produktentwickelnden für die vorliegenden Marktunsicherheiten und die Notwendigkeit von Validierungsaktivitäten gesteigert werden kann und wie Methoden zum systematischen Schließen von Wissens- und Definitionslücken gestaltet werden können.

3.1.1 Forschungsthese und Forschungsfragen der Arbeit

Auf Basis des zuvor dargelegten Forschungsbedarfs wurde die Zielsetzung der vorliegenden Arbeit hergeleitet. Dieser Zielsetzung liegt eine zentrale Forschungsthese zugrunde, auf die sich die nachfolgenden Untersuchungen und entwickelten Ansätze berufen. Diese Forschungsthese lautet:

Forschungsthese:

Der gezielte Einsatz von Methoden der initialen Zielsystementwicklung auf Basis der KaSPro ermöglicht es, das bisher nur bedingt ausgeprägte Bewusstsein der Produktentwickelnden hinsichtlich der vorliegenden Marktunsicherheiten zu steigern und damit insbesondere bei der Reduktion von Marktunsicherheiten zu unterstützen.

Zur Operationalisierung der Zielsetzung im Rahmen der Forschungsarbeit wurden auf Basis des Forschungsbedarfs drei aufeinander aufbauende Forschungsfragen formuliert. Diese lauten:

Forschungsfrage 1:

Wie präsent sind Aktivitäten zum Umgang mit Marktunsicherheiten, mit denen Zielsystemelemente behaftet sind, im Produktentstehungsprozess und im Bewusstsein der Produktentwickelnden der Untersuchungsumgebung?

Forschungsfrage 2:

Wie sind Methoden zur Unterstützung der initialen Zielsystementwicklung zu gestalten, um im Modell der PGE – Produktgenerationsentwicklung den Umgang mit Marktunsicherheiten – Identifizieren und Reduzieren – zu fördern?

Forschungsfrage 3:

Welchen Beitrag leisten diese Methoden der initialen Zielsystementwicklung hinsichtlich des Umgangs mit Marktunsicherheiten, mit denen Zielsystemelemente behaftet sind, unter definierten Rahmenbedingungen²⁷?

²⁷ Definierte Rahmenbedingungen der Untersuchungsumgebung Hekatron Brandschutz oder des Live-Labs Integrierte Produktentwicklung. Diese werden in den folgenden Kapiteln weiter spezifiziert.

3.2 Vorgehensweise

Nachfolgend wird die Vorgehensweise zur Beantwortung der formulierten Forschungsfragen erläutert. Zu diesem Zweck werden zunächst die verwendete Forschungsmethode und die in der Arbeit verwendeten empirischen Methoden dargestellt, bevor im Anschluss die Forschungsumgebung vorgestellt wird.

3.2.1 Forschungsmethode

Das Forschungsvorhaben wird entsprechend der Design Research Methodology (DRM) nach BLESSING UND CHAKRABARTI (2009) strukturiert. Die DRM schlägt ein Framework vor, welches das Vorgehen in vier generische Stadien – Klärung des Forschungsgegenstands, Deskriptive Studie 1, Präskriptive Studie und Deskriptive Studie 2 – unterteilt, die in unterschiedlicher Ausprägung (literatur-basiert, initial und umfassend) durchgeführt werden können. Das Forschungsvorgehen der vorliegenden Arbeit wird entsprechend Typ 5 (Klärung des Forschungsgegenstands: literatur-basiert, Deskriptive Studie 1: umfassend, Präskriptive Studie: umfassend und Deskriptive Studie 2: initial) aufgebaut. Nachfolgend findet sich eine Beschreibung der Stadien in Bezug auf die vorliegende Arbeit.

Im Stand der Forschung fand die **Klärung des Forschungsgegenstands** statt, aus welchem die Zielsetzung der Arbeit, Produktentwickelnde beim Umgang mit Marktunsicherheiten im Rahmen der Zielsystementwicklung zu unterstützen, abgeleitet wurde. Darüber hinaus wurden Faktoren ermittelt, die zur Bewertung des Beitrags der Methoden im Zuge der *Deskriptiven Studie 2* verwendet werden (vgl. Kapitel 2).

In der **Deskriptiven Studie 1** wird die Forschungsfrage 1 beantwortet. Diesbezüglich wird mittels empirischer Analysen der identifizierte Forschungsbedarf weiter fokussiert, um ein Verständnis bezüglich des IST-Zustands des Umgangs mit Marktunsicherheiten in der Entwicklung von anlagentechnischem Brandschutz aufzubauen und Potentiale zur Lösung zu identifizieren (vgl. Kapitel 4).

Die **Präskriptive Studie** dient der Entwicklung von Methoden zur Unterstützung der Produktentwickelnden beim Umgang mit Marktunsicherheiten im Zuge der Aktivitäten der initialen Zielsystementwicklung und damit der Beantwortung der Forschungsfrage 2 (vgl. Kapitel 5).

In der abschließenden **Deskriptiven Studie 2** wird Forschungsfrage 3 dadurch beantwortet, dass die in der Präskriptiven Studie gefundenen Methoden evaluiert werden (vgl. Kapitel 6).

Die Evaluation wird dabei entsprechend dem Verständnis von BLESSING und CHAKRABARTI (2009) durchgeführt, die diesbezüglich zwischen der Unterstützungs-Evaluation (engl. Support-Evaluation), der Anwendungs-Evaluation (engl. Application-Evaluation) und der Erfolgs-Evaluation (engl. Success-Evaluation) unterscheiden. Die Unterstützungs-Evaluation überprüft die entwickelte Unterstützung hinsichtlich ihrer Konsistenz, Widersprüche sowie Fehler und wird im Rahmen der *Präskriptiven Studie* durchgeführt. Die Anwendungs-Evaluation überprüft die Anwendbarkeit und Nutzbarkeit der entwickelten Unterstützung. Die Erfolgs-Evaluation prüft den Einfluss der entwickelten Unterstützung auf den Erfolg der Produktentwicklung. Da der Erfolg einer Produktentwicklung jedoch aufgrund der zeitlichen Verzögerung und weiterer (teilweise nicht beeinflussbaren) Einflussfaktoren lediglich bedingt messbar ist, wird die Auswirkung auf messbare Erfolgsfaktoren ermittelt, um entsprechende Rückschlüsse ziehen zu können.

In Bezug auf die Stadien der DRM gilt anzumerken, dass diese keinesfalls sequenziell durchlaufen werden, sondern vielmehr ein iteratives Vorgehen darstellen. So erfolgt die Unterstützungs-Evaluation beispielsweise bereits im Rahmen der *Präskriptiven Studie*, wobei die durch diese initiale Anwendung gesammelten Erkenntnisse zur Weiterentwicklung der generierten Methoden genutzt werden.

3.2.2 Empirische Methoden

Nach MARXEN (2014) dienen empirische Methoden in der Forschung der Produktentwicklung der systematischen Erhebung und Auswertung von Daten. Dabei können verschiedene empirische Methoden miteinander kombiniert werden und in verschiedenen Anwendungen zum Einsatz gelangen. Im Rahmen der beiden deskriptiven Studien der vorliegenden Arbeit kommen verschiedene empirische Methoden zum Einsatz, die nachfolgend dargelegt werden. Im Anhang der Arbeit befinden sich Steckbriefe der einzelnen empirischen Methoden, die tiefere Informationen beinhalten.

Kooperative Promotionsprojekte stellen vornehmlich eine **teilnehmende Beobachtung** dar. Der Fokus dieser teilnehmenden Beobachtung besteht darin, Erkenntnisse hinsichtlich Entwicklungsprozessen und des Zusammenspiels mit zugehörigen Aktivitäten, Methoden etc. zu generieren, wobei der Forschende selbst eine potentielle Datenquelle darstellt (Marxen, 2014).

Fragebögen werden zur Analyse realer Entwicklungsprozesse genutzt, wobei sie insbesondere zur Erfassung der Wahrnehmung von Menschen bzw. Produktentwickelnden eingesetzt werden. Darüber hinaus eignen sie sich dazu, im Zuge von Anwendungsstudien Entwicklungsunterstützungen zu evaluieren. Vorteile ergeben

sich insbesondere durch die direkte Datenerfassung und den Zugang zu großen Stichproben, wohingegen Nachteile dadurch entstehen, dass Fragen äußerst präzise formuliert werden müssen und im Rahmen der Befragung kein Eingriff des Forschenden beispielsweise bei Missverständnissen möglich ist (Marxen, 2014). In dieser Forschungsarbeit wird eine **Fragebogenstudie** sowohl im Zuge der *Deskriptiven Studie 1*, um ein Verständnis hinsichtlich der IST-Situation in der industriellen Praxis aufzubauen, als auch in der *Deskriptiven Studie 2* angewandt. Hierbei werden die entwickelten Methoden durch Produktentwickelnde fragebogenbasiert bewertet.

Interviews weisen ähnliche Anwendungsfälle wie Fragebögen auf, unterscheiden sich allerdings dadurch, dass durch den direkten Austausch zwischen Forschenden und Interviewten ein Eingriff bei Missverständnissen möglich wird. Nachteilig ist indes der Aufwand zu sehen, der mit einem Interview einhergeht. Allerdings rechtfertigt sich dieser durch die hohe Informationsdichte (Ahmed, 2007; Marxen, 2014). Im Zuge der vorliegenden Arbeit werden **Interviews** in der *Deskriptiven Studie 1* durchgeführt, um das in den Fragebogenstudien initial aufgebaute Verständnis hinsichtlich des Vorgehens in der industriellen Praxis gezielt zu vertiefen.

Wenn im Rahmen einer Analyse von realen Entwicklungsprojekten der Fokus auf Gesamtzusammenhänge und nicht zu sehr auf dem Detaillierungsgrad ausgerichtet ist, eignet sich ein **retrospektives Protokoll**. Dieses wird vorrangig zur Analyse realer industrieller Entwicklungsprozesse angewandt (Marxen, 2014). Im Rahmen dieser Forschungsarbeit wird in der *Deskriptiven Studie 1* ein **retrospektives Protokoll** zweier Entwicklungsprojekte erstellt, um den Stellenwert der Validierung in diesen Entwicklungsprojekten zu ermitteln. Das retrospektive Protokoll umfasst vorrangig die Modellierung der entsprechenden Entwicklungsprozesse.

Darüber hinaus wurden im Rahmen der Arbeit **Fallstudien** (Marxen, 2014) und **Live-Lab-Studien** mit dem Ziel durchgeführt, die Nutzbarkeit und den Wert von Methoden zu analysieren. Live-Lab-Studien verfügen dabei über den Vorteil, einerseits realitätsnahe Rahmenbedingungen zu haben, die nahezu denen der industriellen Praxis entsprechen, und andererseits dennoch kontrollierbare Untersuchungsbedingungen aufzuweisen. Somit ist beispielsweise die Möglichkeit gegeben, bei gleichbleibenden realitätsnahen Rahmenbedingungen Untersuchungen mit Test- und Kontrollgruppen durchzuführen (Walter, Albers, Haupt & Bursac, 2016). Die Anwendung und Evaluation der entwickelten Methoden im Zuge der Deskriptiven Studie 2 erfolgt in einer **Fallstudie** und einer **Live-Lab-Studie**, wobei die Methoden durch Produktentwickelnde angewendet und im Nachgang hinsichtlich festgelegter Größen bewertet werden.

3.2.3 Forschungsumgebung: Hekatron Brandschutz

Die vorliegende Forschungsarbeit ist in enger Kooperation zwischen dem IPEK – Institut für Produktentwicklung am Karlsruher Institut für Technologie (KIT) und Hekatron Brandschutz bzw. auch Hekatron Vertriebs GmbH (HVG) entstanden. Hekatron Brandschutz diente als Untersuchungsumgebung, in der einerseits ein Großteil der empirischen Daten für die *Deskriptive Studie 1* erhoben wurde und andererseits die in der *Präskriptiven Studie* entwickelten Methoden evaluiert wurden.

Hekatron Brandschutz ist ein Unternehmen mit Sitz in Sulzburg, das Lösungen des anlagentechnischen Brandschutzes entwickelt und vertreibt. Dabei agiert das Unternehmen in drei strategischen Geschäftsfeldern: Brandmeldesystem, Feststellanlagen und Rauchwarnmelder. Rauchwarnmelder werden in privaten Wohnräumen eingesetzt und dienen dem Alarmieren der Bewohner im Brandfall. Feststellanlagen kommen an Brandschutzabschlüssen (z.B. Brandschutztüren oder -tore) zum Einsatz, die aus betrieblichen Gründen (immer) offen gehalten werden sollen. Dabei werden Brände detektiert und im Brandfall der Abschluss automatisch geschlossen, um verschiedene Brandabschnitte voneinander zu trennen und damit das Ausbreiten eines Brands zu stoppen bzw. die Evakuierung von Menschen zu unterstützen. Brandmeldesysteme kommen in großen Gebäuden wie beispielsweise Hotels oder Krankenhäuser zum Einsatz. Brände werden dabei durch eine Vielzahl von kabel- oder funkvernetzte Brandmelder detektiert und direkt an die Feuerwehr übermittelt, wobei neben Rauch-, Wärme- und Gassensormelder auch Sonderbrandmelder wie beispielsweise in Decken integrierte Ansaugrauchmelder oder Lüftungskanalmelder zur Überwachung von Lüftungskanälen zum Einsatz kommen. Im Brandfall lässt sich somit durch das Brandmeldesystem der Brand lokalisieren und damit die Feuerwehr sowohl bei der Evakuierung als auch bei den Löscharbeiten unterstützen (vgl. Abbildung 3.1). Hekatron Brandschutz hat damit ein sehr breites Kundenportfolio und verkauft sowohl an Unternehmen wie z.B. den Großhandel, Messdienstleister oder Brandschutzerrichter als auch an Privatkunden.

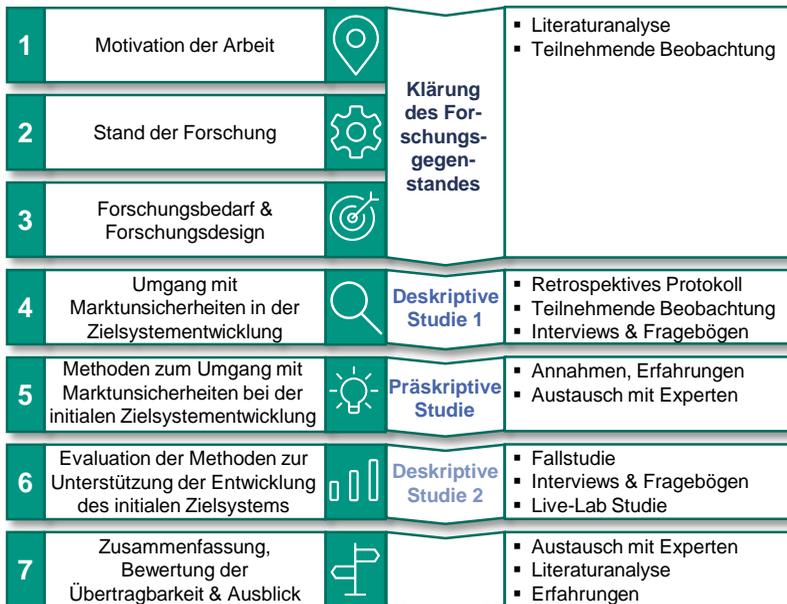


Abbildung 3.1: Darstellung potentieller Komponenten eines Brandmeldesystems; links: verschiedene Brandmelder auf Ringschaltung an Brandmeldezentrale, rechts: Komponenten eines Löschesystems. Nicht dargestellt: Digitale Schnittstelle zur Fernüberwachung, Alarmierung und Feuerwehraufschaltung sowie -peripherie. In der Praxis ist ein System nahezu beliebig erweiterbar. So können 16 Brandmelderlinge mit ca. 4.000 Teilnehmern an einer Zentrale betrieben werden. Zentralen können wiederum miteinander verbunden werden, um die Kapazität zu erhöhen bzw. mehrere Gebäude gleichzeitig zu überwachen (Hekatron Vertriebs GmbH).

Das Kompetenzzentrum der HVG setzt sich aus den drei Geschäftsbereichen Forschung und Entwicklung, Produktmanagement und Qualitätsmanagement zusammen und umfasst ca. 140 Mitarbeitende. Übergreifend sind die drei Abteilungen dafür verantwortlich, Produkte entsprechend den Kundenvorgaben zu definieren, zu entwickeln und nach der Zulassung in Serie zu überführen (Hekatron Vertriebs GmbH).

3.3 Fazit

Auf Basis des dargelegten Stands der Forschung wurde die Zielsetzung der vorliegenden Arbeit, Methoden zum Umgang mit Marktunsicherheiten bei der initialen Zielsystementwicklung zu entwickeln, abgeleitet. Zur entsprechenden Operationalisierung dieser Zielsetzung wurden drei Forschungsfragen abgeleitet. Die dieser Forschungsarbeit zugrunde liegende Vorgehensweise basiert auf der Design Research Methodology und ist in der nachstehenden Abbildung 3.2 dargestellt.



Literatur-basiert **Umfassend Initial**

Abbildung 3.2: Verortung der Arbeit in der Design Research Methodology, dargestellt in Bezug zu der Struktur der Arbeit und den verwendeten empirischen Methoden

Um ein tiefergehendes Verständnis hinsichtlich des Umgangs mit Marktunsicherheiten in der industriellen Praxis zu erlangen, wird in der *Deskriptiven Studie 1* der

Stellenwert der frühen und kontinuierlichen Validierung durch die Erstellung von retrospektiven Protokollen ermittelt. Ferner wird eine Interview- und Fragebogenstudie durchgeführt, um damit dieses Verständnis zu vertiefen. In einer weiteren Interviewstudie wird die Übertragbarkeit der ermittelten Erkenntnisse für weitere Anwendungsfälle analysiert und darüber hinaus das Methodenprofil als Teil des Zielsystems der zu entwickelnden Methoden ermittelt.

Basierend auf den zuvor gesammelten Erkenntnissen werden im Rahmen der *Präskriptiven Studie* Methoden synthetisiert, die die Produktentwickelnden beim Umgang mit Marktunsicherheiten im Rahmen der Aktivitäten der initialen Zielsystementwicklung unterstützen.

Die Evaluation der gefundenen Methoden wird im Zuge der *Deskriptiven Studie 2* durchgeführt. Zu diesem Zweck wird im Rahmen einer Fallstudie in der zuvor beschriebenen Untersuchungsumgebung durch Fragebögen und Interviews der Beitrag der Methoden der initialen Zielsystementwicklung hinsichtlich der Reduktion der vorliegenden Marktunsicherheiten ermittelt. Darüber hinaus wird durch eine Test- und Kontrollgruppenstudie im Live-Lab Integrierte Produktentwicklung die Veränderung des Bewusstseins der Produktentwickelnden für die vorliegenden Marktunsicherheiten durch Fragebögen analysiert.

4 Umgang mit Marktunsicherheiten in der Entwicklung von anlagentechnischem Brandschutz

Nachfolgend wird der hergeleitete Forschungsbedarf hinsichtlich seiner Relevanz für die Untersuchungsumgebung abgesichert. Darüber hinaus wird das Verständnis hinsichtlich des Umgangs mit Marktunsicherheiten in der industriellen Praxis vertieft. Dazu soll die in Kapitel 3 abgeleitete Forschungsfrage 1 beantwortet werden.

1. Wie präsent sind Aktivitäten zum Umgang mit Marktunsicherheiten, mit denen Zielsystemelemente behaftet sind, im Produktentstehungsprozess und im Bewusstsein der Produktentwickelnden der Untersuchungsumgebung?

Entsprechend der DRM wird diese Forschungsfrage mithilfe empirischer Analysen im Rahmen einer deskriptiven Studie beantwortet, wobei sie dazu in die nachfolgenden Unterfragen unterteilt wurde:

- 1.1 Welchen Stellenwert hat die frühe Validierung zur Reduktion von Wissenslücken hinsichtlich Marktunsicherheit in der Entwicklung von anlagentechnischem Brandschutz in der Untersuchungsumgebung? (vgl. Abschnitt 4.1)
- 1.2 Inwiefern sind Marktunsicherheiten, mit denen Zielsystemelemente behaftet sind, und Ansätze zum Umgang mit diesen im Bewusstsein von Produktentwickelnden der Untersuchungsumgebung verankert? (vgl. Abschnitt 4.2)
- 1.3 Welches Methodenprofil zur Unterstützung der Zielsystementwicklung lässt sich durch Abgleich spezifischer Herausforderungen des Zielsystemmanagements und des anlagentechnischen Brandschutzes mit den Grundprinzipien des Agile Systems Design Ansatzes ableiten? (vgl. Abschnitt 4.3)

Durch Beantwortung von Forschungsfrage 1.1 wird der Stellenwert der Validierung als zentrale Aktivität zur Generierung von Wissen und damit zur Reduktion von Unsicherheiten in der Untersuchungsumgebung ermittelt. Das dabei aufgebaute Verständnis wird durch die Beantwortung der Forschungsfrage 1.2 vertieft, wobei die Rahmenbedingungen und Beweggründe der Entwickelnden der Untersuchungsumgebung erfasst werden. Abschließend werden durch die Beantwortung von Forschungsfrage 1.3 Rückschlüsse hinsichtlich der Übertragbarkeit der zuvor gesammelten Erkenntnisse gezogen, was schließlich in einem Methodenprofil mündet.

4.1 Prozessanalyse in der Entwicklung von anlagentechnischem Brandschutz²⁸

Die Zielsetzung der nachfolgend dargestellten Studie besteht darin, detaillierte Einblicke in die Entwicklung von anlagentechnischem Brandschutz zu erhalten und ein Verständnis hinsichtlich der durchgeführten Aktivitäten in realen Entwicklungsprojekten aufzubauen. Dazu wird analysiert, welche Aktivitäten auftreten und in welcher Beziehung diese zueinanderstehen. Im Stand der Forschung wurde identifiziert, dass die Validierung die zentrale Aktivität zur Generierung von Wissen und damit zur Reduktion von Unsicherheit darstellt. Demzufolge sollen insbesondere der aktuelle Stellenwert der Aktivität Validierung und die Integration dieser in die Produktentwicklungsprozesse zur Entwicklung von anlagentechnischem Brandschutz in der beschriebenen Untersuchungsumgebung ermittelt werden. Fokus der Betrachtung ist infolgedessen die Forschungsfrage:

1.1 Welchen Stellenwert hat die frühe Validierung zur Reduktion von Wissenslücken hinsichtlich Marktunsicherheit in der Entwicklung von anlagentechnischem Brandschutz in der Untersuchungsumgebung?

Dahingehend wird nachfolgend zunächst das zugehörige Studiendesign bestehend aus der Modellierungstechnik und dem Vorgehen zur Erfassung der Aktivitäten erläutert, bevor die Ergebnisse dargestellt werden.

4.1.1 Studiendesign

Um eine Vergleichbarkeit zwischen verschiedenen Entwicklungsprojekten zu erhalten, bedarf es einer aktivitätenbasierten Modellierung innerhalb eines Frameworks, das unabhängig vom Zweck der Entwicklung eine vergleichende Darstellung ermöglicht. Dafür eignet sich das Metamodell **iPeM – integriertes Produktentstehungsmodell** (vgl. Abschnitt 2.1.2.5), das in seinem dynamischen Teil eine aktivitätenbasierte Modellierung von Entwicklungsprojekten, unabhängig von deren Zielsetzung bzw. Zweck, ermöglicht.

Da für die Aussagekraft der Studie insbesondere die frühen Phasen der Entwicklungsprojekte relevant sind, gleichzeitig jedoch das Anwendungsmodell und nicht ein SOLL-Prozess (Referenz- oder Implementierungsmodell) erfasst werden soll, werden zur retrospektiven Modellierung zwei Entwicklungsprojekte ausgewählt, die

²⁸ Die in Abschnitt 4.1 dargestellten Ergebnisse sind teilweise in der Publikation (Zimmermann, Heimicke et al., 2021) veröffentlicht worden.

kurz vor Abschluss stehen. Dabei wird die Entwicklung eines neuen Brandmelders für Brandmeldesysteme (kurz: TOPAS-BMS) und eines neuen funkvernetzten Deckenrauchschalters für Feststellanlagen (kurz: FUNK-FSA) analysiert. In Workshops wird jeweils mit dem Projektleiter der Entwicklung und dem zugehörigen Produktmanager, der die Kunden- und Anwendersicht in den entsprechenden Projekten verantwortet, ein retrospektives Protokoll erstellt. Um die Aktivitäten zu erfassen, wird auf die Modellierungstechnik nach ALBERS, LÜDKE, BURSAC und REIß (2014) zurückgegriffen, die im Rahmen des IN² Projekts erarbeitet wurde, um Entwicklungsprozesse verschiedener Unternehmen vergleichbar zu machen und in diesem Zuge in verschiedenen Unternehmen angewendet wurde. Aufgrund der Zielsetzung dieser Studie werden manche der Modellierungselemente zweckgebunden angepasst. Die Zielsetzung besteht darin, die im Rahmen der Entwicklung durchgeführten Aktivitäten retrospektiv zu erfassen, eine zeitliche Einordnung ebendieser in den Entwicklungsprozess zu erhalten. So werden zusätzlich die Meilensteine und zugehörigen Phasen des unternehmensinternen Produktentwicklungsprozesses erfasst und dokumentiert. Für jede der erfassten und zeitlich eingeordneten Aktivitäten werden zusätzlich der entsprechende Input, Output, der Durchführende und die angewendete Methode erfasst. Die nachstehende Tabelle 4.1 gibt eine Übersicht über die in den Workshops verwendeten Elemente der Modellierung:

Tabelle 4.1: Übersicht der Elemente zur Modellierung von Produktentwicklungsprozessen (Albers, Reiß, Bursac, Schwarz & Lüdcke, 2015, S. 6; Bursac, 2016, S. 94)

Element	Bezeichnung	Beschreibung
	Prozessphase	Eine Phase beschreibt den Abschnitt zwischen zwei Meilensteinen. Sie dienen der Orientierung des Managements.
	Meilenstein	Meilensteine bilden eine zeitliche Grenze verschiedener Phasen zueinander. Sie sind durch einen definierten Projektfortschritt beschrieben.
	Aktivitätenbox	Aktivitätenboxen dienen der Darstellung einzelner Prozessschritte und werden durch einen Input, einen Output, die entsprechende Aktivität und zugehörige Methode beschrieben.
	Aktivitätenimpuls	Nicht alle der durchgeführten Aktivitäten haben einen direkten Vorgänger bzw. ist ihr Vorgehen nicht im Prozess begründet. Vielmehr haben sie einen Auslöser, der

		unabhängig von den bis dato durchgeführten Aktivitäten ist. Insbesondere im Hinblick auf die Verankerung der Validierungsaktivitäten ist es von Interesse, diese Auslöser zu verstehen (ursprünglich Wissensquellen).
	Aktivitäten-senke	Manche Aktivitäten haben keinen direkten Nachfolger, sondern resultieren beispielsweise in einer wichtigen Erkenntnis oder Entscheidung, die Relevanz für den weiteren Projektverlauf hat (ursprünglich Wissensmanagementsystem).
	Informationsfluss	Pfeile verbinden einzelne Aktivitätenboxen miteinander und beschreiben den Informationsfluss von einer Aktivität zur nächsten, wobei dieser vor allem durch die Übertragung von Objekten stattfindet.

Als Grundgerüst der Modellierung dient der unternehmenseigene Produktentwicklungsprozess bestehend aus acht Phasen (Produktantrag, Anforderungsmanagement, Auftragsklärung, Produktplanung und Spezifizierung, Funktionsmusterphase, Prototypenphase, Nullserie und Härtingsphase) und zugehörigen Meilensteinen als Eingangsgröße. In den Workshops werden nun die durchgeführten Zwischenmeilensteine, Aktivitäten etc. erfasst und in Abhängigkeit zueinander gesetzt. So wurden für das Projekt TOPAS-BMS 48 verschiedene Aktivitäten und für das Projekt FUNK-FSA 43 Aktivitäten erfasst. Um ein tiefergehendes Verständnis hinsichtlich der durchgeführten Aktivitäten zu erhalten, werden die Probanden während der Workshops zusätzlich beispielsweise hinsichtlich der Motive oder Impulse zur Durchführung diverser Aktivitäten befragt, aber auch hinsichtlich getroffener Entscheidungen oder Konsequenzen.

Nach Durchlauf der Workshops werden die erfassten Entwicklungsaktivitäten gemäß der Modellierungstechnik digitalisiert und im Anschluss, um eine Vergleichbarkeit herzustellen, im dynamischen Teil des iPeMs als Anwendungsmodell dargestellt. Dazu müssen die erfassten Aktivitäten, die entsprechend dem Unternehmensumfeld eine spezifische Formulierung aufweisen, in die generisch formulierten Produktentstehungsaktivitäten des iPeMs überführt werden. Dabei ergeben sich Aussagen hinsichtlich des Stellenwerts der (frühen) Validierung zur Reduktion von Marktunsicherheiten einerseits durch die Quantität und den Zeitpunkt, zu dem Validierungsaktivitäten durchgeführt werden, und andererseits durch die Analyse der Intention der durchgeführten Validierungsaktivitäten. Dazu werden die erfassten Aktivitätenboxen entsprechend den vorhandenen Informationen (Input, Output, Beschreibung der Aktivität und verwendete Methode) analysiert und eine Zuordnung zu den Aktivitäten des iPeMs auf allen Layern vorgenommen. Dabei sind

Mehrfachzuordnungen möglich. So lässt sich beispielsweise die erfasste Aktivität – *Verifizierung in anderer, bisher nicht angedachter Untersuchungsumgebung*²⁹ – der Aktivität *Validieren und Verifizieren* zuordnen, allerdings wurde in den Workshops erläutert, dass dazu zusätzliche Komponenten der Validierungsumgebung aufgebaut und eine Anpassung des Prototyps vorgenommen werden musste. Somit ist eine Zuordnung zu der Aktivität *Prototyp aufbauen* und zu dem Layer *Validierungssystem* möglich. Auch hierbei werden verschiedene Aktivitäten wie beispielsweise *Ideen finden*, *Prinzip und Gestalt modellieren* oder *Prototyp aufbauen* durchgeführt. Die nachstehende Abbildung 4.1 zeigt die Modellierung des Prozesses an einer Metaplanwand, die zugehörige Digitalisierung der Ergebnisse und die Abbildung im iPeM.



Abbildung 4.1: Ausschnitt der Modellierung, die im Rahmen des Workshops durchgeführt wurde, die zugehörige Digitalisierung der Ergebnisse und deren Darstellung als Anwendungsmodell im dynamischen Teil des iPeMs

²⁹ Die genannte Aktivität kann an dieser Stelle wegen bestehender Geheimhaltungsvereinbarungen nicht weiter spezifiziert werden.

4.1.2 Ergebnisse der Prozessanalyse

Im Zuge der Überführung der erfassten Aktivitäten in das iPeM wird das Hauptaugenmerk auf das Anwendungsmodell gerichtet, wohingegen Referenz- und Implementierungsmodell von der Betrachtung ausgeklammert werden. Zudem wird ausschließlich der Layer Produkt G_n betrachtet. In Bezug auf den Layer Validierungssystem lässt sich feststellen, dass lediglich wenige entsprechende Aktivitäten erfasst wurden, also das Validierungssystem nur minimal angepasst bzw. durch einen hohen Übernahmevariationsanteil entwickelt wurde. Dies lässt sich darauf zurückführen, dass die meisten zugehörigen Prüfstände unabhängig von dem zu entwickelnden Produkt projektübergreifend zum Einsatz kommen und somit bereits Bestandteil des Ressourcensystems sind. Nachfolgend ist in Abbildung 4.2 das erfasste Anwendungsmodell des Projekts TOPAS-BMS dargestellt.

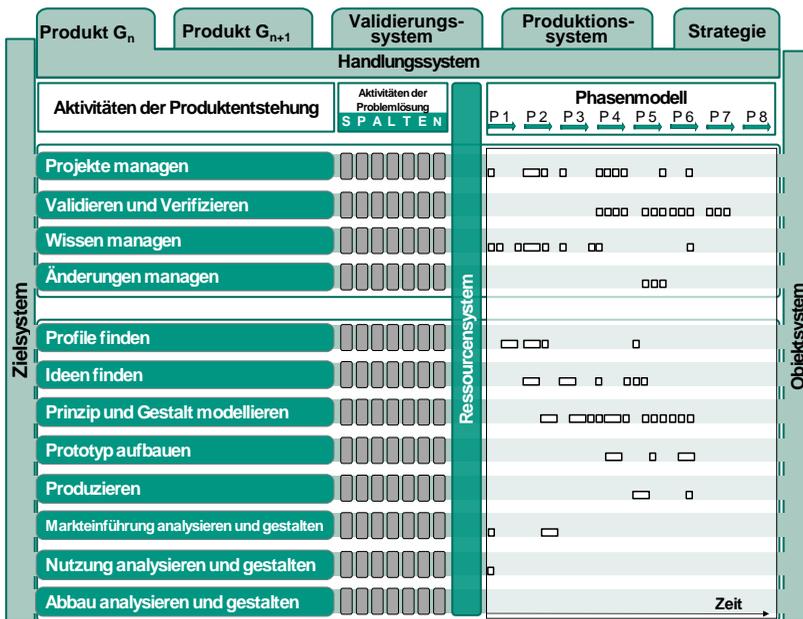


Abbildung 4.2: Retrospektiv modelliertes Anwendungsmodell für das Entwicklungsprojekt TOPAS-BMS; Größenverhältnisse der Darstellung des iPeMs wurden zur Verbesserung der Lesbarkeit angepasst (Zimmermann, Heimicke et al., 2021)

Dies lässt sich überdies in der nachfolgenden Abbildung 4.4 erkennen, in der beide modellierten Prozesse überlagert zu sehen sind, wobei das Projekt FUNK-FSA durch die grünen Balken modelliert wird, die weißen Balken das Projekt TOPAS-BMS abbilden.

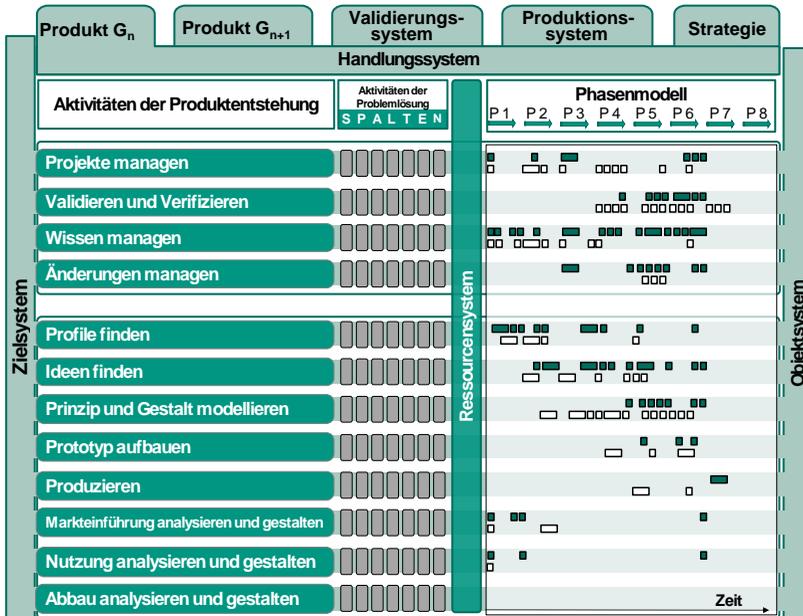


Abbildung 4.4: Überlagerung, der im dynamischen Teil des iPeMs modellierten Anwendungsmodelle für TOPAS-BMS (weiß) und FUNK-FSA (grün) zeigt, dass in beiden Entwicklungsprojekten auf dasselbe Referenzmodell zurückgegriffen wurde, so dass große Ähnlichkeiten bei den Anwendungsmodellen deutlich werden (Zimmermann, Heimicke et al., 2021). Größenverhältnisse der Darstellung des iPeMs wurden zur Verbesserung der Lesbarkeit angepasst

Die Überlagerung der Aktivitäten der beiden Entwicklungsprojekte verdeutlicht, dass in beiden Projekten die Aktivität *Validieren und Verifizieren* zum ersten Mal in der vierten Projektphase – Produktplanung und Spezifizierung – durchgeführt wird. In dieser Phase findet entsprechend dem unternehmensinternen Entwicklungsprozess die Erstellung des Pflichtenhefts und des technischen Lösungskonzepts statt, das

bereits erste physische Prototypen umfasst. Hinsichtlich des Projekts FUNK-FSA lässt sich erkennen, dass die Aktivität *Validieren und Verifizieren* zum ersten Mal am Ende dieser Phase durchgeführt wird, wobei im Rahmen des Pflichtenhefts sämtliche Anforderungen, gegen die das Produkt verifiziert werden soll, final bestätigt und vertraglich vereinbart werden. Dies zeigt sich im Rahmen der Prozessmodellierung darin, dass zuvor bereits mehrfach die Aktivität *Profile finden* durchgeführt wurde, ohne dass sich die Aktivität *Validieren und Verifizieren* angeschlossen hat. Folglich ist zu schlussfolgern, dass das Produktprofil bzw. das beschriebene Nutzenbündel nicht hinsichtlich seiner Relevanz aus Kunden- und Anwendersicht validiert wurde.

Die Analyse der in den Aktivitätenboxen, die sich der Aktivität *Validieren und Verifizieren* zuordnen lassen, gespeicherten Informationen ergibt, dass diese Aktivitäten vorrangig zur Reduktion technischer Unsicherheiten durchgeführt wurden und nicht zur Reduktion von Marktunsicherheiten. So wurden primär Aktivitäten wie beispielsweise *Verifizierung des Firmwarelösungskonzepts*, *mechanische Tests*, *Tests zur frühzeitigen Absicherung der Zulassungsprüfungen*, *Tests hinsichtlich der Zuverlässigkeit und Empfindlichkeit der Sensorik*, *Tests zur elektromagnetische Verträglichkeit* oder *Kommunikationstests* durchgeführt. Diese dienen entsprechend den in Abschnitt 2.3.2 hergeleiteten Definitionen der Verifizierung, also der Absicherung, dass die definierten Anforderungen erfüllt werden, und nicht der Absicherung des definierten Nutzenbündels. Dies unterstreicht erneut den zuvor dargestellten Sachverhalt, dass die gefundenen Produktprofile als solche nicht validiert wurden, sondern lediglich eine technische Absicherung erfolgte. Zu erwähnen ist, dass auch Validierungsaktivitäten durchgeführt wurden. So wurden beispielsweise Usability Studien oder Studien, in denen Kunden und Anwender Designmuster zur Verfügung gestellt wurden, erfasst, allerdings nehmen diese in den untersuchten Projekten eine eher untergeordnete Rolle ein.

Um das Verständnis hinsichtlich des Stellenwerts der Aktivität Validierung in der Untersuchungsumgebung zu vertiefen und die Motive der Produktentwickelnden, die diesen Stellenwert begründen, zu erfassen, wurden die vier Probanden während der Workshops zur retrospektiven Prozessmodellierung befragt. Dabei äußern alle der Befragten, dass es für sie eine Selbstverständlichkeit ist, dass Validierungsaktivitäten zur Reduktion von Marktunsicherheiten erst am Ende des Entwicklungsprojekts durchgeführt werden, was im Rahmen der Interviews vorrangig mit dem verwendeten Prozessmodell begründet wird. Ferner führen drei der vier befragten Probanden als Motiv für das Ausbleiben der frühen Validierung an, dass diese viel Zeit in Anspruch nimmt. Insbesondere entstünden, falls durch die Erkenntnisse der Validierung Änderungen am Produkt notwendig werden, enorme Mehraufwände. Darüber hinaus besteht, entsprechend der Rückmeldung von zwei der Probanden,

ein gewisses Hemmnis, nicht ausgereifte Produkte oder Prototypen Kunden oder Anwendern im Rahmen einer Validierung zur Verfügung zu stellen. Ein weiteres Motiv, das die befragten Projektverantwortlichen anführen, beschreibt, dass sie keine geeigneten Methoden für die frühe Validierung von Annahmen bezüglich Anforderungen kennen, insbesondere zur Validierung ohne physische Prototypen.

Zusammengefasst lässt sich folgern, dass der Stellenwert der Validierung – als Aktivität zur Generierung von Wissen und damit zur Reduktion von Marktunsicherheiten – in der beschriebenen Forschungsumgebung eher gering ist. Folglich ist eine Diskrepanz zwischen diesem ermittelten Stellenwert und dem im Stand der Forschung beschriebenen Stellenwert der Validierung festzustellen. Nachfolgend werden, die im Rahmen der vorliegenden Studie durch Analyse zweier Entwicklungsprojekte gesammelten Erkenntnisse hinsichtlich der Gültigkeit für die gesamte Untersuchungsumgebung evaluiert und weiter vertieft. Dies erfolgt in Abschnitt 4.2 durch eine Interview- und Fragebogenstudie.

4.1.3 Zwischenfazit

In der zuvor dargestellten Studie wurde festgestellt, dass der Stellenwert der Validierung in der betrachteten Untersuchungsumgebung eher gering ist. So wird durch die Prozessmodellierung im iPeM deutlich, dass im Rahmen der beiden analysierten Entwicklungsprojekte lediglich in späten Phasen des Entwicklungsprozesses Aktivitäten der Basisaktivität *Validieren und Verifizieren* durchgeführt wurden. Darüber hinaus konnte festgestellt werden, dass diese Aktivitäten vorrangig im Sinne einer Verifizierung zur Reduktion technischer Unsicherheiten durchgeführt wurden und nicht im Sinne der Validierung zur Reduktion von Marktunsicherheiten. Infolgedessen ergibt sich eine Diskrepanz zu der im Stand der Forschung erfassten Bedeutung der Validierung als zentrale Aktivität der Produktentwicklung zur Generierung von Wissen und damit zur Reduktion von Unsicherheit (Albers, 2010). Die im Rahmen der Interviews identifizierten Hauptgründe sind fehlende Zeit und unzureichende Methodenkenntnisse. So gaben die Probanden an, dass durch den Erkenntnisgewinn der Validierung Änderungen notwendig werden, die zeitaufwendig sind, insbesondere wenn diese spät auftreten. Darüber hinaus sind Methoden zur frühen Validierung zur Reduktion von Marktunsicherheiten lediglich bedingt bekannt. Neben der retrospektiven Projektanalyse wird im Rahmen der vorliegenden Arbeit eine weitere empirische Studie durchgeführt, in der der Umgang der Produktentwickelnden mit Marktunsicherheiten untersucht wird. Diese wird nachfolgend vorgestellt.

4.2 Interviewstudie zum Umgang mit Marktunsicherheiten in der Entwicklung von anlagentechnischem Brandschutz

Basierend auf den in der retrospektiven Projektmodellierung gesammelten Erkenntnissen hinsichtlich des Stellenwerts der Validierung in der Untersuchungsumgebung wird in diesem Abschnitt die Haltung der Produktentwickelnden gegenüber den vorliegenden Marktunsicherheiten analysiert. Dabei werden – ausgehend von dieser Haltung – Rückschlüsse hinsichtlich des im Rahmen der Prozessmodellierung erfassten Vorgehens gezogen. Von Interesse ist dabei insbesondere, inwiefern die vorliegenden Marktunsicherheiten den Produktentwickelnden bewusst sind. Fokus der Betrachtung ist folglich die Forschungsfrage:

1.2 Inwiefern sind Marktunsicherheiten, mit denen Zielsystemelemente behaftet sind, und Ansätze zum Umgang mit diesen im Bewusstsein von Produktentwickelnden der Untersuchungsumgebung verankert?

4.2.1 Studiendesign

Zu diesem Zweck wird eine dreistufige empirische Studie zur Problemanalyse durchgeführt. Das entsprechende Vorgehen und die damit verbundene Struktur des nachfolgenden Kapitels ist in Abbildung 4.5 dargestellt.



Abbildung 4.5: Struktur des Kapitels 4.2 und Übersicht der Teilstudien

In einem ersten Schritt – der *Situationsanalyse* – wird fragebogenbasiert eine Einschätzung hinsichtlich der eigenen vorliegenden Situation abgeleitet, die im Nach-

gang im Zuge der *Problemeingrenzung* durch teilstrukturierte, problemorientierte Interviews mit zugehörigen Führungskräften weiter fokussiert und tiefergehend hinsichtlich der vorliegenden Motive konkretisiert wird. Darauf aufbauend werden Thesen abgeleitet, die abschließend im Rahmen der *Härtung und Alternative Lösungen* evaluiert werden. Dabei werden einerseits Thesen hinsichtlich der vorliegenden Problemstellung, um diese abzusichern und andererseits Thesen hinsichtlich erster *Alternativer Lösungen* bewertet. Diese Evaluation wird in einem Sounding Board Workshop mit den zugehörigen Geschäftsbereichsleitern durchgeführt.

4.2.1.1 Studiendesign Teilstudie 1 – Situationsanalyse

In einem ersten Schritt werden sämtliche an der Produktentwicklung beteiligten Personen – Beschäftigte der Geschäftsbereiche Forschung und Entwicklung, Produktmanagement und Qualitätsmanagement – per Fragebogen hinsichtlich einer Einschätzung bezüglich des Umgangs mit Marktunsicherheiten und des Stellenwerts der Validierung befragt. Darauf aufbauend werden die gesammelten Erkenntnisse über einen zweiten Fragebogen vertieft. Die durchschnittliche Stichprobe über sämtliche gestellten Fragen beträgt dabei ca. 45 Personen. Im Rahmen des Fragebogens werden den Befragten insbesondere geschlossene Fragen gestellt. Zur Vertiefung der Sachverhalte beinhalten die Fragebögen auch teilweise offene Fragen, bei denen um eine kurze Stellungnahme in Form eines Freitexts gebeten wird.

4.2.1.2 Studiendesign Teilstudie 2 – Problemeingrenzung

Um die gesammelten Erkenntnisse zu vertiefen, werden darauf aufbauend teilstrukturierte, problemorientierte Interviews mit acht Führungskräften aus den Abteilungen Forschung & Entwicklung und Produktmanagement durchgeführt, die der nachstehenden Tabelle 4.2 zu entnehmen sind.

Tabelle 4.2: Übersicht der im Rahmen der Studie befragten Probanden

#	Rolle des Interviewten im Unternehmen
A	Leiter Mechanikentwicklung
B	Produktmanager Rauchwarnmelder
C	Leiter Entwicklung Rauchwarnmelder
D	Leiter Produktmanagement Produktmanagement Digital und Service
E	Produktmanager Brandmeldesysteme
F	Produktmanagerin Digital und Services
G	Leiter Produktmanagement Brandmeldesysteme

H	Leiter Produktmanagement Rauchwarnmelder
---	--

Zielsetzung dieser Interviews ist es, den zuvor ermittelten Stellenwert der Validierung in der Untersuchungsumgebung zu verifizieren bzw. zu falsifizieren. Bei erfolgreicher Verifizierung sollen zusätzliche Erkenntnisse hinsichtlich der Gründe und Motive des Ausbleibens dieser Aktivität gesammelt werden. In den Interviews wird den Probanden zunächst das in Abschnitt 2.3.2 dargestellte Begriffsverständnis hinsichtlich der Begriffe Validierung und Verifizierung vorgestellt, um auf ein einheitliches Verständnis im weiteren Interview zurückgreifen zu können. Zur Auswertung der Interviews werden diese aufgezeichnet und im Anschluss transkribiert.

4.2.1.3 Studiendesign Teilstudie 3 – Härtung und Alternative Lösungen

Zur Härtung der gesammelten Erkenntnisse werden diese als Thesen formuliert, die im Anschluss im Rahmen eines Sounding-Boards (Walter, Albers, Schelleis & Kurler, 2017) durch die Geschäftsbereichsleiter der Bereiche Forschung und Entwicklung, Produktmanagement und Qualitätsmanagement bewertet werden (vgl. Tabelle 4.3). Dabei wird jeweils eine These durch den Moderator vorgestellt. Im Anschluss geben die Teilnehmenden durch das Kleben von Klebepunkte an, ob sie der These zustimmen, teilweise zustimmen oder ob sie diese ablehnen. Die Antwort soll begründet werden, wobei diese Aussagen aufgenommen und im Anschluss transkribiert werden.

Tabelle 4.3: Übersicht der im Rahmen der Studie befragten Probanden

#	Rolle des Interviewten im Unternehmen
A	Geschäftsbereichsleiter Forschung und Entwicklung
B	Geschäftsbereichsleiter Produkt-, Dienstleistungsportfoliomanagement
C	Geschäftsbereichsleiter Qualität

Zusätzlich werden Thesen zu potentiellen Handlungspotentialen formuliert und durch die Probanden bewertet, um die Relevanz dieser Handlungspotentiale zu evaluieren. Sämtliche Thesen, die den Probanden dabei zur Bewertung gegeben werden, zielen auf die in der Entwicklung zu erreichende Effektivität ab. Diese wird zu Beginn des Workshops definiert und umfasst sowohl die Geschwindigkeit, den Ressourceneinsatz, als auch die Entwicklung der aus Kunden- und Anwendersicht richtigen Produkte. Die Evaluierung der Handlungspotentiale wird zusätzlich durch alle Mitarbeitende der entsprechenden Abteilungen Forschung und Entwicklung, Produktmanagement und Qualitätsmanagement durchgeführt. Dazu werden die Thesen fragebogenbasiert durch die Produktentwickelnden bewertet.

4.2.2 Ergebnisse der mehrstufigen empirischen Untersuchung

Nachfolgend werden die Ergebnisse der drei Teilstudien dargelegt.

4.2.2.1 Ergebnisse der Teilstudie 1 – Situationsanalyse

Im Rahmen der ersten beiden Fragen der Situationsanalyse wird – aufbauend auf den in Abschnitt 4.1 dargestellten Erkenntnissen – der Stellenwert der Validierung in der vorgestellten Untersuchungsumgebung analysiert. Dazu werden die Befragten sowohl um eine Einschätzung hinsichtlich des *typischen* Zeitpunkts der Validierung in der Entwicklung als auch um Aussagen hinsichtlich des Vorgehens bei der Validierung gebeten. Die dabei gesammelten Erkenntnisse sind der nachfolgenden Abbildung 4.6 zu entnehmen.

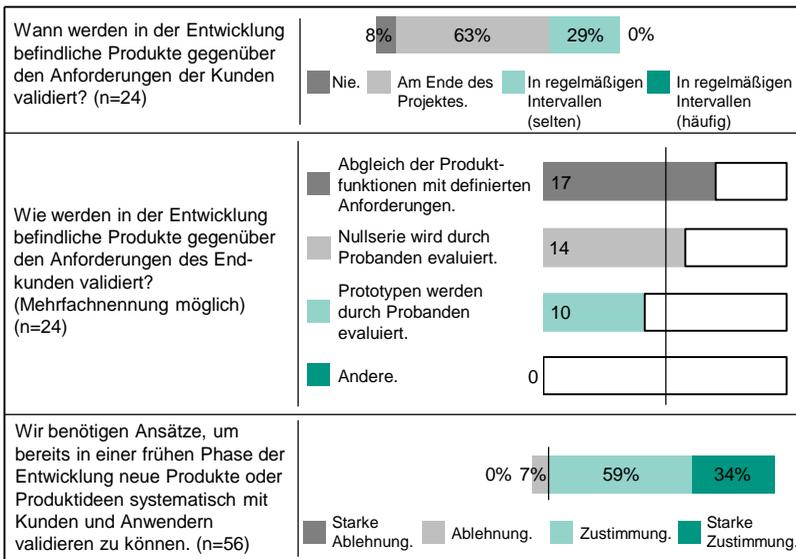


Abbildung 4.6: Visualisierung der Ergebnisse der Erhebung zeigt, dass die Validierung eher spät durchgeführt wird, die Verifizierung im Vordergrund steht und ein Bedarf für Methoden zur frühen Validierung besteht. Frage 1 und 2 waren Bestandteil der ersten Erhebung; Frage 3 Bestandteil der zweiten vertiefenden Erhebung.

Hinsichtlich des **typischen Zeitpunkts**, zu dem in Entwicklungsprojekten validiert wird, gibt die Mehrzahl der Befragten (63 %) an, dass vorwiegend am Ende des Entwicklungsprojekts validiert wird; 8 % der Befragten gibt an, dass das Produkt überhaupt nicht gegenüber den Bedürfnissen der Kunden und Anwender abgeglichen wird. Allein 29 % der Befragten geben an, dass regelmäßig validiert wird, wobei dies in seltenen Abschnitten passiert und niemand gibt an, dass häufig entlang des Entwicklungsprozesses validiert wird.

Um tiefergehende Erkenntnisse zu erlangen, wird zusätzlich analysiert, **wie die Validierung in der Regel durchgeführt wird**. Dabei werden den Befragten verschiedene Möglichkeiten, die durch vorab geführte Gespräche ermittelt wurden, zur Auswahl gestellt. Zusätzlich gibt es das Feld *Andere* mit der Option für Freitext, wobei keiner der Befragten davon Gebrauch macht. Bei der Beantwortung dieser Frage sind Mehrfachnennungen möglich. 17 der 24 Befragten (ca. 71 %), die den Fragebogen ausgefüllt haben, gibt dabei an, dass die Validierung primär durch den Abgleich des Produkts mit den im Lasten- und Pflichtenheft beschriebenen Anforderungen erfolgt. Dies stellt dabei die Auswahlmöglichkeit mit den meisten Antworten dar. Die Auswahlmöglichkeit mit den zweitmeisten Antworten beläuft sich darauf, dass Produkte mit dem Reifegrad einer Nullserie gezielt durch Kunden und Anwender getestet werden. Lediglich 10 der Befragten geben an, dass auch Prototypen, die unter Umständen nur wenige Funktionen aufweisen, von Kunden und Anwendern getestet werden. Dies deckt sich mit den zuvor beschriebenen Erkenntnissen hinsichtlich des Zeitpunkts der Validierung.

Zusätzlich wurde in diesem Zug evaluiert, ob aus Sicht der Produktentwickelnden **ausreichend Methoden zur frühen Validierung bekannt sind** oder ob dahingehend Bedarf besteht. Hierbei stimmen 34 % der These, einen Bedarf für Methoden zur frühen Validierung zu verspüren, zu und 59 % stimmen teilweise zu. Damit geben sie an, einen Bedarf für Ansätze zu verspüren, um Produkte früh mit Kunden und Anwendern validieren zu können. 7 % der Befragten lehnen diese These ab.

Darauf aufbauend wird untersucht, wie die Einschätzung, der in der Untersuchungsumgebung tätigen Produktentwickelnden, hinsichtlich der Notwendigkeit der Validierung ist. Um dahingehend Erkenntnisse zu sammeln, sollen die Befragten einschätzen, ob die zu entwickelnden Produkte aus ihrer Sicht die Bedürfnisse der Kunden und Anwender erfüllen und somit die Validierung obsolet machen würden. Die gesammelten Erkenntnisse sind in der nachfolgenden Abbildung 4.7 dargestellt.

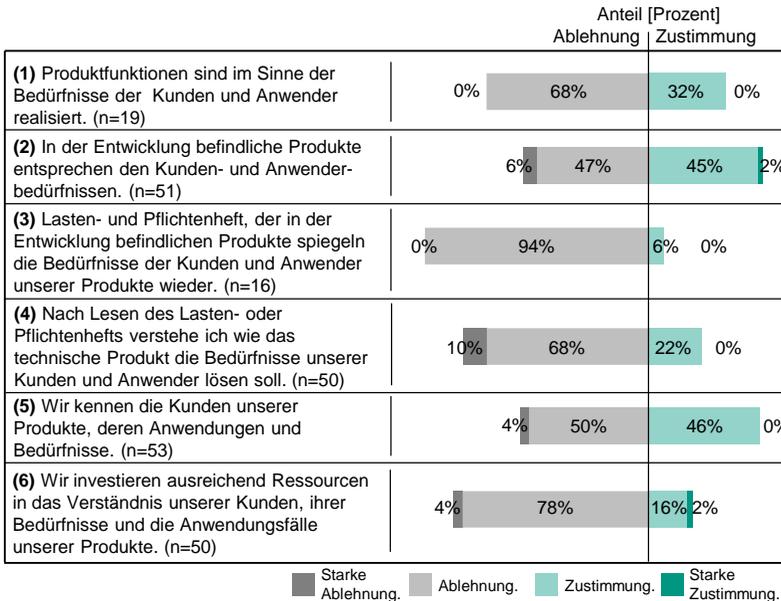


Abbildung 4.7: Visualisierung der Ergebnisse der Erhebung zeigt, dass der Stellenwert der Validierung nach Ansicht der Entwickelnden entsprechend den vorliegenden Rahmenbedingungen nicht ausreichend ist; These 1 und 3 waren Bestandteil der ersten Erhebung, die Thesen 2 und 4-6 Bestandteil der zweiten Erhebung

Dabei bewerten die Produktentwickelnden, ob die aus ihrer Sicht zu entwickelnden **Produktfunktionen im Sinne der Bedürfnisse von Kunden und Anwendern** realisiert sind. (vgl. (1)) Dabei entfällt keine Antworten auf *Starke Zustimmung* und *Starke Ablehnung*. Die Mehrheit (68 %) der Befragten lehnt diese These ab und lediglich 32 % stimmen der These zu, dass die Produktfunktionen bei der Entwicklung neuer Produkte im Sinne der Kunden und Anwender sind.

Weiter wird ersichtlich, dass 45 % der Befragten der These, dass die **in der Entwicklung befindlichen Produkte den Bedürfnissen der Kunden entsprechen**, zustimmen (vgl. (2)). 2 % der Befragten stimmen dieser These sogar stark zu. Demgegenüber lehnen 47 % der Befragten die These ab bzw. 6 % lehnen sie sogar stark ab. Es ergibt sich folglich ein relativ ausgeglichenes Bild, wobei knapp mehr als die

Hälfte der Befragten die Meinung vertritt, dass die Produkte nicht den Bedürfnissen von Kunden und Anwendern entsprechen.

Folglich kann abgeleitet werden, dass die Produktentwickelnden der Auffassung sind, dass die entwickelten Produkte nicht umfänglich den Kunden- und Anwenderbedürfnissen entsprechen, sondern vielmehr Abweichungen dahingehend vorhanden sind. Nachfolgend wird analysiert, wodurch sich diese Abweichungen ergeben. Dazu wird ermittelt, ob die Zielesystemelemente, auf Basis derer die Produkte entwickelt werden, die Bedürfnisse der Kunden und Anwender widerspiegeln.

Zunächst wird diesbezüglich untersucht, ob die in **Lasten- oder Pflichtenheften dokumentierten Anforderungen den Kunden- und Anwenderbedürfnissen entsprechen** (vgl. (3)). 94 % der Befragten geben an, dass sie diese These ablehnen, also nicht der Auffassung sind, dass die aus Kunden- und Anwendersicht richtigen Anforderungen dokumentiert werden. Lediglich 6 % der Befragten glauben, dass die Anforderungen den Kunden- und Anwenderbedürfnissen entsprechen.

Dies deckt sich mit der Einschätzung der Produktentwickelnden hinsichtlich der nächsten These (vgl. (4)), ob die **im Lasten- oder Pflichtenheft beschriebenen technischen Produkte die Bedürfnisse der Kunden und Anwender befriedigen**. Lediglich 22 % der Befragten gibt an, der These zuzustimmen, wohingegen 68 % die These ablehnen und 10 % diese These sogar stark ablehnen und damit für sie der Zusammenhang unklar ist, wie das beschriebene technische Produkt die Bedürfnisse von Kunden und Anwendern lösen soll.

Es wird deutlich, dass entsprechend der Einschätzung der befragten Produktentwickelnden die dokumentierten Anforderungen als Elemente des Zielsystems nicht den Bedürfnissen der Kunden und Anwender entsprechen. Folglich zeigt sich, dass die Anforderungen aus Sicht der befragten Produktentwickelnden mit Unsicherheiten behaftet sind und damit validiert werden müssten.

Nachfolgend wird dementsprechend analysiert, woher diese unsicherheitsbehafteten Annahmen resultieren. Dazu wird analysiert, ob nach Einschätzung der Produktentwickelnden **die Kunden und ihre Bedürfnisse, Anwendungsfälle der Produkte ausreichend bekannt** sind (vgl. (5)). Es kann festgestellt werden, dass 50 % der befragten Produktentwickelnden angeben, die relevanten Kunden und Anwender, deren Anwendungsfälle und Bedürfnisse nicht ausreichend zu kennen und 4 % der Befragten die entsprechende These sogar stark ablehnen.

Abschließend wird analysiert, wie die Haltung der Entwickelnden hinsichtlich des **Ressourceneinsatzes zur Generierung des notwendigen Wissens hinsichtlich**

der Kunden, Anwendungsfälle und der zugehörigen Bedarfe ist (vgl. (6)). Hierbei lehnen 78 % die These ab und erklären, dass der Einsatz ihrer Ansicht zufolge nicht ausreichend ist. Nur 16 % erwähnen, dass der Einsatz ausreichend ist und 2 % stimmen der These stark zu, wobei 4 % diese These auch stark ablehnen.

Die Fragebogenstudie zeigt, dass für die Produktentwickelnden der Untersuchungsumgebung Kunden und Anwender der zu entwickelnden Produkte sowie deren Bedürfnisse und Anwendungsfälle lediglich bedingt bekannt sind bzw. Wissenslücken dahingehend bestehen und folglich Marktunsicherheiten vorliegen. Dennoch führen die befragten Probanden aus, dass nicht ausreichend Ressourcen in das zugehörige Verständnis investiert werden. Dies wirkt sich unter anderem dahingehend aus, dass die befragten Produktentwickelnden einschätzen, dass die im Lasten- und Pflichtenheft definierten Anforderungen nicht den Bedürfnissen der Kunden und Anwender entsprechen oder die Einschätzung vorliegt, dass die Bedürfnisse von Kunden und Anwendern besser erfüllt werden können. Ferner zeigt sich, dass die Validierung, wenn überhaupt, am Ende von Projekten durchgeführt wird, primär einem Abgleich des Produkts mit den erfassten Anforderungen entspricht. Entsprechend den im Stand der Forschung (vgl. Abschnitt 2.3.2) dargelegten Definitionen entspricht dies jedoch vielmehr einer Verifizierung. Die eigentliche Validierung, in der der Nutzen des Produkts aus Kunden- und Anwendersicht in einem entsprechenden Anwendungsfall überprüft wird, findet im Gegensatz dazu lediglich eingeschränkt statt.

4.2.2.2 Ergebnisse der Teilstudie 2 – Problemeingrenzung

In einer darauf aufbauenden Interviewstudie wird analysiert, wie die zugehörigen Führungskräfte den Stellenwert der Validierung bewerten und welche Motive sowie Gründe sie diesbezüglich für relevant erachten.

Stellenwert

Hinsichtlich des Stellenwerts der Validierung in der Untersuchungsumgebung führen sämtliche befragten Führungskräfte aus, dass der Stellenwert „im Moment [...] ziemlich weit unten ist“.³⁰ Damit deckt sich die Sicht mit den zuvor beschriebenen Erkenntnissen. Des Weiteren führt ein Proband aus, dass die Validierung „in der Tiefe [seiner] [...] Kenntnis nach [bisher] noch nicht stattgefunden“³¹ hat. Dies deckt sich mit der Sicht von Interviewpartner A, der vermutet, dass das eingeholte Feedback bezüglich eines Produkts primär auf der Erfahrung der Vertriebsmitarbeitenden fußt und weniger durch gezielte Validierungsaktivitäten eingeholt wird. Eine weitere Probandin gibt an, dass statt der Validierung häufig lediglich das umgesetzt bzw.

³⁰ Interviewpartner E

³¹ Interviewpartner G

angepasst wird, „was der Vertrieb [...] zurückmeldet“.³² Andere Probanden führen aus, dass die Validierung aus ihrer Sicht gar nicht durchgeführt wird. So besteht beispielsweise die Auffassung, dass viele Produktentwickelnde in der Untersuchungsumgebung die dokumentierten Anforderungen als „die Bibel [erachten] und das hinterfragt eben keiner“.³³ Gleichzeitig ist allerdings bei den befragten Probanden die Sicht vorherrschend, dass eine frühe und kontinuierliche Validierung für den Erfolg der Produktentwicklungsvorhaben äußerst hilfreich ist. Deswegen wird nachfolgend analysiert, welche Gründe aus Sicht der Probanden hinsichtlich des ermittelten geringen Stellenwerts der Validierung bestehen.

Gründe

Diesbezüglich führen die Probanden einige Herausforderungen an, die mit der Validierung einhergehen. So erwähnen sie beispielsweise mehrfach, dass es bei der Validierung bzw. allgemein bei der Kundenintegration schwierig ist, ein ausreichendes Stimmungsbild der Kunden und Anwender zu erhalten. So führt die **Diversität der Zielkunden**³⁴ ihrer Ansicht nach einerseits zu einer eingeschränkten Validität der Informationen und andererseits zu einer Schwierigkeit bei der Auswahl der richtigen Probanden und der Anzahl dieser. Überdies führen sie an, dass eine gewisse Angst dahingehend besteht, dass der **Wettbewerb**³⁵ etwas von den zu validierenden Produktideen mitbekommt. Es bestehen ebenfalls Ängste, dass **Kunden „verprellt“**³⁶ werden, wenn man Ideen vorstellt, die nie auf den Markt kommen. Diese Ängste hemmen, entsprechend der Einschätzung der befragten Probanden, die Produktentwickelnden hinsichtlich der Validierung.

Zudem geben die befragten Führungskräfte Gründe an, die aus dem Unternehmenskontext und der Aufbauorganisation resultieren. So wird beispielsweise angeführt, dass die **Entwicklung von Produkten des anlagentechnischen Brandschutzes stark normativ geprägt**³⁷ ist. So bedürfen sämtliche Produkte zum Markteintritt einer Zulassung. Diese wird ausgestellt, wenn die relevanten Normen, die primär die Kernfunktionen wie Rauchererkennung, Alarmierung etc. beschreiben, durch die Zulassungsstellen nachgewiesen werden. Somit sind nach Aussage der Probanden die Produktentwickelnden vorrangig darauf bedacht, die in den Normen beschriebenen Anforderungen umzusetzen.

³² Interviewpartnerin F

³³ Interviewpartner C

³⁴ Adressiert durch die Interviewpartner A, E & G

³⁵ Adressiert durch die Interviewpartner B & E

³⁶ Interviewpartner G

³⁷ Adressiert durch die Interviewpartner C & F

Die Probanden beschreiben darüber hinaus die Aufbauorganisation der Untersuchungsumgebung in Bezug auf die **Produktentwicklung als stark innenorientiert**³⁸. Dies resultiert ihrer Meinung nach primär aus der stark vertriebsorientierten Ausrichtung des Unternehmens. Einige Probanden folgern daraus die Möglichkeit der Produktentwickelnden Verantwortung zu übergeben. So wird beispielsweise beschrieben, dass es durch das Übernehmen von Anforderungen vom Vertrieb beispielsweise möglich wird, Verantwortung abzugeben, was eine Komfortzone darstellt. So konstatiert Proband B, dass die Anwender- und Kundenorientierung durch Validierung „für die ganze Organisation erstmal raus aus der Komfortzone“ bedeutet. In diesem Kontext bilanzieren einige der befragten Probanden die bisherigen Erfahrungen der Produktentwickelnden, die eben vorrangig in einer innenorientierten Organisation gesammelt wurden.

Ein weiteres Motiv, warum in der Untersuchungsumgebung lediglich wenig bis gar nicht validiert wird, sehen die Führungskräfte in dem **Aufwand**³⁹, der mit der Validierung einhergeht. So wird teilweise ausgeführt, dass insbesondere der Aufwand durch Änderungen ins Gewicht fällt. Ein Proband beschreibt diesbezüglich: „bin ich dann schon in der Nullserie, dann muss ich wieder was ändern, wenn Feedback kommt“.⁴⁰ Jedoch ist gleichzeitig für die meisten der Befragten nicht realistisch zu einem früheren Zeitpunkt als beispielsweise der erwähnten Nullserie zu validieren. So wird vermutet, dass dann niemand das Gezeigte valide bewerten kann.

Dies zeigt zusätzlich, dass auch das **Know-How hinsichtlich der frühen Validierung**⁴¹ lediglich bedingt vorhanden ist. Proband C führt dahingehend aus: „Ich würde sagen [...] die methodische Kompetenz [ist] nicht gegeben“, wobei Proband D weiter angibt: „dann fehlt es an der Kompetenz. Ich meine, die Methoden muss man können. Man muss ein bisschen kreativ sein, weil nicht immer das gleiche funktioniert“. Er unterstreicht, dass neben der nicht vorhandenen methodischen Kompetenz die Adaption an eigene vorliegende Probleme eine Hürde bildet. Außerdem unterstreichen die Probanden, dass den Produktentwickelnden eine Systematik fehlt, mit der sie die zu validierenden Annahmen identifizieren können. Dementsprechend erklärt Proband H: „dass es nicht zu 100% notwendig und sinnvoll ist mit jeder Idee rauszugehen, aber es gibt wiederum auch kein[e] [...] Systematik [...] [besteht, anhand der] wir dann entscheiden [können], wenn [die] Punkt[e] [...] zutreffend sind, dann muss [...] auch [...] tatsächlich validiert werden“.

³⁸ Adressiert durch die Interviewpartner B, C, D, F & H

³⁹ Adressiert durch die Interviewpartner A, B, E & F

⁴⁰ Interviewpartner B

⁴¹ Adressiert durch die Interviewpartner D, G & H

Die befragten Führungskräfte explizieren hinsichtlich der Kompetenz, dass „das mangelnde Verständnis, dass es wichtig ist [zu validieren]“⁴², einen Grund für das Ausbleiben darstellt. Allgemein wird vermutet, dass die **Notwendigkeit der Validierung, nicht ausreichend bekannt**⁴³ ist. So führt Interviewpartner A aus: „Ich glaube da fehlt wahrscheinlich das grundsätzliche Verständnis. Ich muss das tun“. Dies wird unter anderem auch darauf zurückgeführt, dass ein falsches Verständnis der Validierung verbreitet ist. So wird beispielsweise ausgeführt, dass bei den verantwortlichen Produktentwickelnden eine gewisse Angst vorherrschen könnte, dass Fehler gemacht wurden, die dann durch die Validierung offengelegt werden, oder dass eine Art „Angst vor dem frühen Scheitern“⁴⁴ vorherrscht. Um diese zu überwinden, führt der Proband weiter aus „bedarf [es] eines Mindchange[s], dass das frühe Scheitern [...] gut ist. Ich glaube da sind wir nicht“.⁴⁵

Das **fehlende Bewusstsein hinsichtlich der vorliegenden Unsicherheiten und der Notwendigkeit der Validierung**⁴⁶ ist nach Ansicht der Probanden ein weiterer Grund, warum die Validierung in der Untersuchungsumgebung einen eher geringen Stellenwert einnimmt. Dies wird einerseits dadurch deutlich, dass die Führungskräfte es explizit adressieren (beispielsweise: „das Bewusstsein fehlt“⁴⁷), aber andererseits weitere Indikatoren angeben, dass sie selbst nur bedingt über ein ausreichendes Bewusstsein verfügen. So wird beispielsweise ausgeführt, dass „wir [im Projekt] [...] gar kein Bedürfnis [haben zu validieren] [...], weil uns wurden die Anforderungen richtig kommuniziert“.⁴⁸ In diesem Kontext wird von einigen Probanden adressiert, dass häufig der Vertrieb als Kunde betrachtet wird, was das Bewusstsein für Unsicherheiten limitiert. So führt ein Proband beispielsweise aus: „Vielleicht glaubt man dann, man hat die Kundensicht [...] reingebracht, indem der Vertrieb seine Äußerungen getan hat [...], vielleicht ist das dann der Glaube [...] weil man dann das Gefühl hat, da ist man [...] ganz nah am Kunden dran“.⁴⁹ Der Proband erklärt weiter, dass seiner Meinung nach „dieses Bewusstsein fehlt“. So werden Annahmen getroffen, „aber ob das „richtig“ ist, weiß eigentlich noch keiner“⁵⁰ und dennoch wird es nicht hinterfragt.

⁴² Interviewpartner H

⁴³ Adressiert durch die Interviewpartner A, D, F, G & H

⁴⁴ Interviewpartner G

⁴⁵ Interviewpartner G

⁴⁶ Adressiert durch die Interviewpartner C, D, F & G

⁴⁷ Interviewpartner D

⁴⁸ Interviewpartnerin F

⁴⁹ Interviewpartner C

⁵⁰ Interviewpartner C

Die mit den Führungskräften durchgeführten teilstrukturierten Interviews bestätigen die zuvor gewonnene Erkenntnis, dass der Stellenwert der Validierung in der Untersuchungsumgebung gering ist. Gründe dafür sehen die Probanden insbesondere in den vorliegenden Rahmenbedingungen der Untersuchungsumgebung, wonach das Vorgehen in der Untersuchungsumgebung ihrer Ansicht nach stark normativ geprägt ist. Ferner bilden fehlende methodische Kompetenzen hinsichtlich der Validierung und der hohe Aufwand, der mit der Validierung einhergeht und der vor allem durch aus der Validierung notwendigen Änderungen resultiert, entscheidende Gründe. Darüber hinaus benennen die Probanden das fehlende Bewusstsein der Produktentwickelnden für die vorliegenden Marktunsicherheiten als einen weiteren zentralen Punkt, der den ermittelten Stellenwert der Validierung und den Umgang mit Marktunsicherheiten generell begründet.

4.2.2.3 Ergebnisse der Teilstudie 3 – Härtung und Alternative Lösungen

Darauf aufbauend werden die gesammelten Erkenntnisse in Thesen überführt und mit drei Mitgliedern der Geschäftsführung validiert.

Durch die Bewertung der ersten These (vgl. Abbildung 4.8) im Rahmen des Sounding-Boards können Rückschlüsse hinsichtlich der Bedeutung von Marktunsicherheiten für die Produktentwicklung in der Untersuchungsumgebung gezogen werden. Dies ermöglicht es, den aus dem Stand der Forschung hergeleiteten Forschungsbedarf, den Umgang mit Marktunsicherheiten systematisch durch Methoden zu unterstützen, abzusichern.

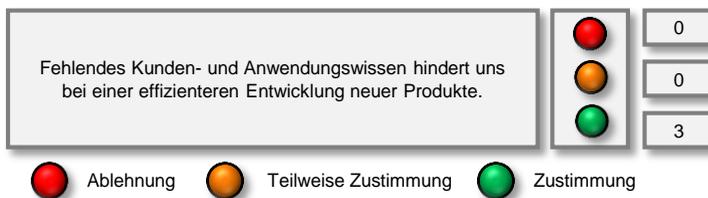


Abbildung 4.8: Bewertung der 1. These durch die Geschäftsbereichsleiter

Alle drei Probanden stimmen dieser These zu. Einer der Probanden führt zur Erklärung aus, dass „das ein ganz großer Schwachpunkt [ist], den wir haben. Wir sind zu

weit weg vom Markt und Kunden“.⁵¹ Gleichzeitig müssen die Entwickelnden „sich dieses Kunden- und Anwendungswissen irgendwie aneignen [...] wollen, weil man damit einfacher, schneller und zielgerichteter Lösungen findet“.⁵² Die Aussagen der Probanden kongruieren damit mit den zuvor gesammelten Erkenntnissen, dass Marktunsicherheiten in der Untersuchungsumgebung vorherrschen und eine zentrale Bedeutung aufweisen, gleichzeitig jedoch die Kunden- und Anwenderperspektive nicht ausreichend im Entwicklungsprozess repräsentiert ist.

Auch die zweite zu evaluierende These (vgl. Abbildung 4.9) ermöglicht Rückschlüsse hinsichtlich der Bedeutung von Marktunsicherheiten aus Sicht der Geschäftsbereichsleiter für den Erfolg der Produktentwicklung.

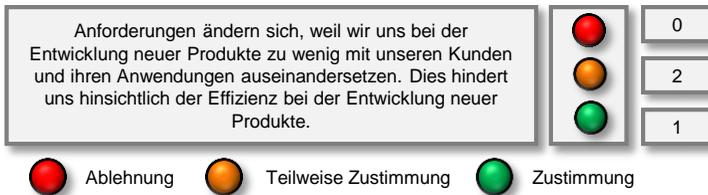


Abbildung 4.9: Bewertung der 2. These durch die Geschäftsbereichsleiter

Ein Proband gibt an der These zu zustimmen, wohingegen zwei der Probanden der These teilweise zustimmen. Die Gründe für die teilweise Zustimmung belaufen sich vor allem darauf, dass ihrer Meinung nach die These differenziert betrachtet werden muss und es zwischen den Anforderungen an das technische Produkt und den Anforderungen aus Kunden- bzw. Anwendersicht zu differenzieren gilt. So führt ein Proband aus, „dass wir uns zu schnell [...] in eine Ebene Machbarkeit und Realisierung und Lösung bewegen, als dass wir uns mit der Anforderung aus Kundensicht auseinandersetzen“.⁵³ Die fehlende Auseinandersetzung mit den Anforderungen aus Kunden- und Anwendersicht resultiert sodann in sich ändernden technischen Produkthanforderungen. Ein anderer Proband ergänzt diesbezüglich: „Die Anforderungen haben sich verändert, oder ich habe sie fehleingeschätzt“.⁵⁴ Als Auslöser für

⁵¹ Interviewpartner C

⁵² Interviewpartner A

⁵³ Interviewpartner C

⁵⁴ Interviewpartner A

den Effekt sehen sie insbesondere die fehlende oder die späte Validierung. So expliziert ein Proband: „Wir validieren sehr spät, wenn das Produkt praktisch da ist, wird offensichtlich, was das Produkt kann oder was es nicht kann [...] dann wird auch erst klar, ob es die richtigen Anforderungen waren“⁵⁵ und stellt damit initial den Stellenwert der Validierung zur Steigerung der Effektivität heraus.

Die dritte These (vgl. Abbildung 4.10), die im Rahmen des Sounding-Boards evaluiert wird, zielt darauf ab, den in den Interviews ermittelten Bedarf zu erhärten, dass die Produktentwickelnden lediglich bedingt in der Lage sind, Unsicherheiten zu identifizieren bzw. keine dabei unterstützende Systematik zur Verfügung steht.

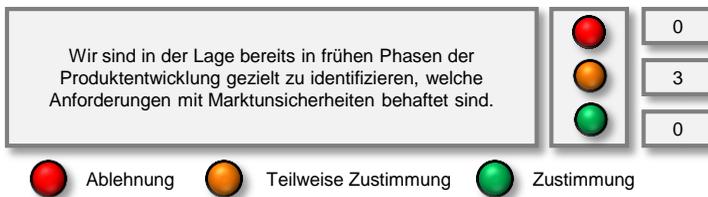


Abbildung 4.10: Bewertung der 3. These durch die Geschäftsbereichsleiter

Alle drei Probanden der Studie geben dabei an, dieser These teilweise zu zustimmen, also die Einschätzung zu vertreten, dass die Produktentwickelnden in der Untersuchungsumgebung bedingt in der Lage sind, die mit Marktunsicherheiten behafteten Anforderungen identifizieren zu können. So gibt ein Proband zur Begründung beispielsweise an: „wahrscheinlich weiß man das oft schon am Anfang, man redet, man kennzeichnet es nicht“.⁵⁶ Als potentielle Erklärungen für dieses Phänomen führen die Probanden sowohl eine gewisse „Verdrängung“⁵⁷ als auch den vorherrschenden Zeitdruck an. So wird dargestellt: „Vielleicht kommt das durch den Zeitdruck [...] dass man sagt, ich will fertig werden [...] [das] wird schon passen“.⁵⁸

⁵⁵ Interviewpartner A

⁵⁶ Interviewpartner A

⁵⁷ Interviewpartner A

⁵⁸ Interviewpartner B

Die sich anschließende zu evaluierende These (vgl. Abbildung 4.11) adressiert die Ausprägung des Bewusstseins hinsichtlich der vorliegenden Marktunsicherheiten.

Das Bewusstsein der Produktentwickler, dass Annahmen, die zu einem frühen Zeitpunkt getroffen werden nicht im Sinne der Kunden sind und somit evtl. den Markterfolg gefährden, ist bei uns nur bedingt vorhanden.



Ablehnung



Teilweise Zustimmung



Zustimmung


0


1


2

Abbildung 4.11: Bewertung der 4. These durch die Geschäftsbereichsleiter

Alle drei Probanden stellen fest, dass in der Untersuchungsumgebung das Bewusstsein für Unsicherheiten lediglich bedingt vorhanden ist. So werden nach Einschätzung der Probanden beispielsweise häufig Anforderungen des Vertriebs aufgenommen, ohne diese zu hinterfragen. Im Zuge dieser These diskutieren die Probanden zusätzlich den Stellenwert und die Ausgestaltung der Validierung in der Untersuchungsumgebung. Dabei führt ein Proband aus: „wir validieren gar nicht beim Kunden. Also wenn ich sage, ich validiere gegen das Lastenheft, dann validiere ich gegen das Dokument, wo etwas beschrieben ist“ und ergänzt: „die Validierung gegen das Lastenheft spiegelt dann [...] auch gar nicht die Überprüfung, ob es denn den Kundennutzen trifft, wider“.⁵⁹ Er komplettiert, dass es mit Validierung möglich wäre, Marktunsicherheiten zu identifizieren und zu reduzieren, aber dass diese erst „sehr spät“ durchgeführt wird, sodass man „eigentlich gar nicht mehr reagieren“⁶⁰ kann.

Ein anderer Proband verdeutlicht, dass es einer „Auseinandersetzung“ zwischen den verschiedenen Fachbereichen bedarf, „diese fehlt“⁶¹ seiner Ansicht nach jedoch. In dieser Auseinandersetzung gilt es seiner Einschätzung zufolge, „zu sagen, wir bringen es in eine gute Balance [...] Kosten, Funktion, Performance, [...] und sagen ganz klar, was ist die Aufgabe der Schnittstellen, um so ein Produkt in den Markt zu bekommen“.⁶² Das Fehlen dieser Auseinandersetzung führt er auf das fehlende Bewusstsein für Marktunsicherheiten zurück. Im Rahmen der Diskussion fasst

⁵⁹ Interviewpartner A

⁶⁰ Interviewpartner A

⁶¹ Interviewpartner B

⁶² Interviewpartner B

ein Proband das vorliegende Problem aus Sicht der Produktentwickelnden zusammen: „ich treffe eine Annahme, und gebe was raus [...] dann steht es wieder irgendwo drin als Gesetz [...] und die Unsicherheit ist dann immer noch mit drin“.⁶³ Seiner Einschätzung nach tritt das fehlende Bewusstsein nun dahingehend auf, dass sich Dinge im Laufe einer Produktentwicklung ändern, unter anderem dadurch, dass neue Erkenntnisse erzielt werden: „es ändern sich Dinge [...], da wird auch darüber gesprochen“. Das Problem ist seiner Meinung nach jedoch, dass die notwendigen Anpassungen der getroffenen Annahmen nicht durchgeführt werden: „aber es wird nicht entschieden“.⁶⁴

Die Einschränkung des Probanden, der im Rahmen des Sounding-Boards *Teilweise Zustimmung* als Einschätzung angegeben hat, resultiert daraus, dass er der Auffassung ist, dass jedes Produkt ein Kompromiss darstellt und nicht ausschließlich im Sinne der Kunde ausgelegt werden kann. Er führt diesbezüglich aus: „manchmal muss [man][...] Dinge im Sinne der Wirtschaftlichkeit so auslegen, dass es nicht zwingend im Sinne des Kunden ist, sondern im Sinne der Firma, weil sie Geld verdienen will. Sonst würden wir jedem Kunden sein individuelles Produkt bauen“.⁶⁵ Somit bestehen stets Anforderungen, die nicht im Sinne der Kunden sind.

Die nächste These (vgl. Abbildung 4.12) analysiert, inwiefern das Bewusstsein für die Marktunsicherheiten bei der Umsetzung der Anforderungen verloren geht.

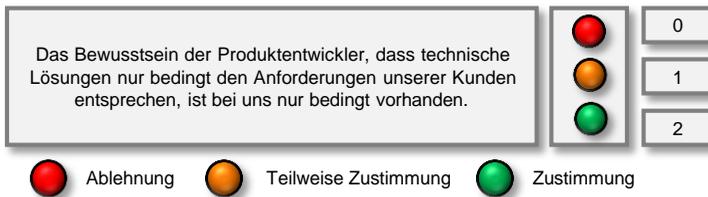


Abbildung 4.12: Bewertung der 5. These durch die Geschäftsbereichsleiter

⁶³ Interviewpartner A

⁶⁴ Interviewpartner C

⁶⁵ Interviewpartner B

Hierbei lässt sich das gleiche Stimmungsbild wie bei der vorherigen These erkennen. Erneut sind die Probanden davon überzeugt, dass das Bewusstsein bloß bedingt vorhanden ist. So fügt ein Teilnehmender an: „nein, das ist nicht vorhanden das Bewusstsein“ und begründet dies damit, dass dieses „über diese lange Wegstrecke verloren“⁶⁶ geht. Er erörtert, dass die Produktentwickelnden sich eher darauf fokussieren technische Probleme zu lösen und dabei das Bewusstsein hinsichtlich der Unsicherheiten verloren geht. Er formuliert dies aus Sicht eines Produktentwickelnden: „jetzt habe ich es endlich, und mache einen Haken dran und bin total enttäuscht, dass nicht alle Hurra schreien“.⁶⁷ Ein zweiter Proband, der zustimmt und damit die Auffassung vertritt, dass das Bewusstsein nicht vorhanden ist, beschreibt es am Beispiel eines konkreten Entwicklungsprojekts und führt dabei in Bezug auf die mit Marktunsicherheiten behafteten Annahmen aus, dass „die Entwickler [...] es nicht gewusst [haben]. Die haben nämlich gemacht, was [im Lastenheft] drinstand“.⁶⁸ Seiner Einschätzung zufolge liegt dies insbesondere daran, „dass man die Lösung [nicht] praktisch nur noch ableiten kann aus der Anforderung“,⁶⁹ sondern diese vielmehr kontinuierlich hinterfragen muss. Ein Proband stimmte der These nicht vollumfänglich zu, sondern vertritt die Auffassung, dass „die Leute [das Bewusstsein] schon im Kopf [haben], aber sie bringen es nicht zur Anwendung“.⁷⁰ Damit deutet er an, dass das Bewusstsein für die Marktunsicherheiten zumindest teilweise vorhanden ist, jedoch bei der Umsetzung dieser teilweise nicht darauf eingegangen wird.

Im Anschluss werden nun erste, in der Literatur identifizierte, Handlungspotentiale evaluiert. Erneut werden die gesammelten Erkenntnisse in Thesen überführt. Dazu wird zunächst evaluiert, ob die systematische Identifikation von mit Marktunsicherheiten behafteten Anforderungen hinsichtlich der Effizienz in der Produktentwicklung in der Untersuchungsumgebung weiterhilft (vgl. Abbildung 4.13). Die Thesen hinsichtlich der Handlungspotentiale werden zusätzlich von den an einem Entwicklungsprozess beteiligten Mitarbeitenden bewertet. Dabei ergibt sich, dass 81 % der befragten Produktentwickelnden der These zustimmen und 19 % ihr teilweise zustimmen. Keiner der Probanden gibt an, der These nicht zu zustimmen. Ähnlich verhält es sich hinsichtlich der Rückmeldung der Geschäftsbereichsleiter, wobei alle drei der These zu stimmen.

⁶⁶ Interviewpartner C

⁶⁷ Interviewpartner C

⁶⁸ Interviewpartner B

⁶⁹ Interviewpartner B

⁷⁰ Interviewpartner C

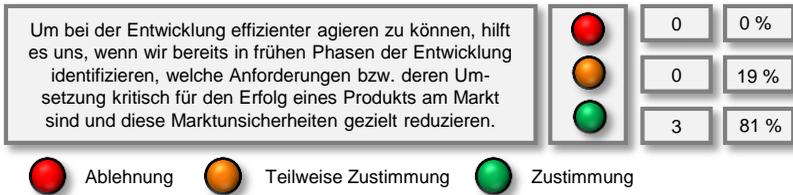


Abbildung 4.13: Bewertung der 6. These durch die Geschäftsbereichsleiter (links: absolut, n=3) und sämtliche Produktentwickelnde (rechts: prozentual, n= 57)

Entsprechend eindeutig Stimmungsbild ist das Stimmungsbild. So konstatieren alle drei Geschäftsbereichsleiter, dass dies weiterhelfen würde und stellen im Rahmen ihrer Aussagen dar, dass es wichtig wäre, dies zu tun. Eine Einschränkung entsteht dadurch, dass sich im Laufe der Entwicklung auf Basis neuer Erkenntnisse „die Welt [auch weiter] dreht“. Dennoch würde es nach Ansicht der Probanden die Effizienz steigern, wenn man die Produktentwickelnden befähigt, die Unsicherheiten herauszuarbeiten, sodass sie „sich derer bewusst sind“ und sie dann „im Blick behalten“.⁷¹

Die 7. These befasst sich mit der Ausgestaltung von Zielsystemelementen und der Integration der Kunden- sowie Anwendersicht in diese (vgl. Abbildung 4.14).

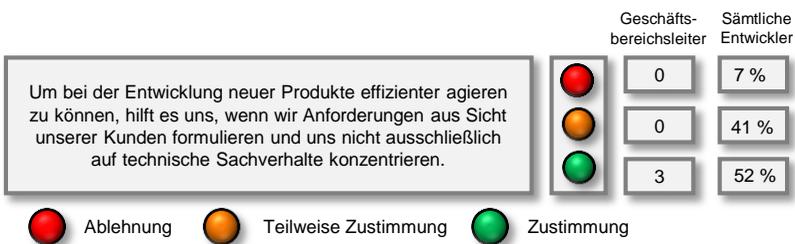


Abbildung 4.14: Bewertung der 7. These durch die Geschäftsbereichsleiter (links: absolut, n=3) und sämtliche Produktentwickelnde (rechts: prozentual, n= 57)

⁷¹ Interviewpartner B

Alle drei Probanden stimmen dieser These zu. Ein Proband stellt heraus, dass dies seiner Ansicht zufolge „ganz wichtig“ für die erfolgreiche Produktentwicklung ist. Er fügt hinzu, dass es generell wichtig ist, „in Anforderungen“ zu denken, wobei „das [...] schwierig“ sei. Seiner Einschätzung zufolge denken die Produktentwickler „wahnsinnig oft in Lösungen“.⁷²

Auch bei der Evaluation der These durch sämtliche Produktentwickelnden ergibt sich ein recht eindeutiges Bild. So stimmt etwas mehr als die Hälfte (52 %) der Befragten der These zu, 41 % der Befragten stimmen teilweise zu und lediglich 7 % geben an die These abzulehnen. Dementsprechend ergibt sich eine ähnliche Tendenz hinsichtlich des Stimmungsbilds wie im Rahmen des Sounding-Boards, wenn auch nicht alle befragten Produktentwickelnden den Mehrwert der kunden- und anwenderorientierten Formulierung von Zielsystemelementen erkennen.

Die letzte These, die im Rahmen des Sounding-Boards evaluiert wird, analysiert den Einfluss der Validierung auf den Erfolg der Produktentwicklung (vgl. Abbildung 4.15).

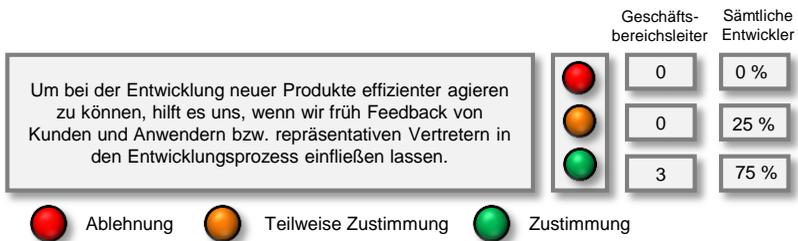


Abbildung 4.15: Bewertung der 8. These durch die Geschäftsbereichsleiter (links: absolut, n=3) und sämtliche Produktentwickelnde (rechts: prozentual, n= 57)

Dabei geben alle drei Probanden an, dass sie den Einfluss der Validierung auf den Erfolg der Produktentwicklung als sehr entscheidend einschätzen. Ein Proband erläutert, dass er die Validierung als äußerst wichtig erachtet, es bislang in der Untersuchungsumgebung aber nicht „konsequent gemacht [wird]“⁷³. Darüber hinaus wird

⁷² Interviewpartner B

⁷³ Interviewpartner B

von einem anderen Probanden ergänzt, dass der frühe Abgleich mit Kunden eigentlich entscheidend ist, aber „da scheuen wir uns aus irgendwelchen Gründen, aber das ist eigentlich der Weg“.⁷⁴

Erneut bewerteten die Produktentwickelnden die gleiche These. Hierbei ergibt sich ein ähnliches Stimmungsbild. 75 % der Befragten geben an, der These zu zustimmen, also die Bedeutung der Validierung für den Erfolg der Produktentwicklung als hoch einzuschätzen. Weitere 25 % stimmen der These partiell zu und keiner der Probanden lehnt die These ab.

Zusammenfassend lässt sich folgern, dass in der Untersuchungsumgebung ein Defizit hinsichtlich des benötigten Wissens in Bezug auf Kunden und Anwender sowie deren Bedürfnissen und Anwendungsfällen besteht, das sich in mit Marktunsicherheiten behafteten Zielsystemelementen niederschlägt. Prinzipiell schätzen die Probanden ein, dass die Produktentwickelnden in der Lage sind, diese Marktunsicherheiten zu erkennen, indes führen sie an, dass der Umgang mit diesen nicht adäquat ist. Ein Grund dafür, der in diesem Rahmen diskutiert wird, ist das Bewusstsein für die Marktunsicherheiten als solche, aber auch deren Auswirkung. Dies wird der Einschätzung der Probanden zufolge unter anderem im eher geringen Stellenwert der Validierung deutlich.

Hinsichtlich der Handlungspotentiale lässt sich schlussfolgern, dass es aus Sicht der Geschäftsbereichsleiter, aber auch der Produktentwickelnden entscheidend ist, Zielsystemelemente verstärkt aus Sicht der Kunden und Anwender zu synthetisieren und sich im Rahmen dieser nicht ausschließlich auf technische Sachverhalte zu fokussieren. Des Weiteren gilt es aus Sicht der Geschäftsbereichsleiter, gezielt Marktunsicherheiten bzw. mit Marktunsicherheiten behaftete Annahmen zu identifizieren und damit das Bewusstsein, das ein adäquater Umgang mit diesen erfordert, zu steigern. Abschließend ist es aus Sicht der Probanden für den Erfolg der Produktentwicklung entscheidend, den Stellenwert der Validierung in der Untersuchungsumgebung zu steigern. Dabei besteht aus Sicht der Produktentwickelnden allerdings ein Bedarf bezüglich der Methoden zur frühen Validierung. Nachfolgend gilt es, die bisher ausschließlich im Kontext der Untersuchungsumgebung gesammelten Erkenntnisse hinsichtlich ihrer Übertragbarkeit in anderen Branchen zu analysieren, die gefundenen Handlungspotentiale zu evaluieren und in Form eines Methodenprofils abzubilden. Dies erfolgt in Abschnitt 4.3 durch eine branchenübergreifende Interviewstudie.

⁷⁴ Interviewpartner C

4.2.3 Zwischenfazit

In der dargestellten dreistufigen empirischen Studie konnte bestätigt werden, dass der Stellenwert von Aktivitäten zur Reduktion von Marktunsicherheiten, besonders der der Validierung in der betrachteten Untersuchungsumgebung, eher gering ist. Dabei gab ein Großteil der befragten Probanden unabhängig von deren Rolle im Entwicklungsprozess und Hierarchiestufe an, dass Marktunsicherheiten bzw. deren Auswirkungen eine entscheidende Rolle im Entwicklungsprozess einnehmen, allerdings der Umgang mit diesen, Stand heute lediglich bedingt präsent im Entwicklungsprozess und im Bewusstsein der Entwickelnden verankert ist. Dies führen die befragten Probanden unter anderem auf das Umfeld der Untersuchungsumgebung zurück, das ihrer Ansicht nach eher durch normative Randbedingungen geprägt ist. Der Einschätzung der Produktentwickelnden zufolge wäre es zielführend, auf methodische Ansätze zurückgreifen zu können, die im Rahmen der Zielsystementwicklung beim Umgang mit Marktunsicherheiten unterstützen würden. Dabei gilt es insbesondere, Zielsystemelemente verstärkt aus Sicht der Kunden und Anwender zu betrachten, das Bewusstsein für die vorliegenden Marktunsicherheiten zu steigern und die Validierung zu fördern. Dazu soll in einer weiteren Studie das Methodenprofil als Teil des Zielsystems derartiger methodischer Unterstützungen abgeleitet werden. Die dazu durchgeführte branchenübergreifende Interviewstudie wird nachfolgend dargelegt.

4.3 Methodenprofil zur Unterstützung der Zielsystementwicklung⁷⁵

Nachfolgend werden die im Rahmen der Untersuchungsumgebung gesammelten Erkenntnisse durch branchenübergreifende Interviews hinsichtlich ihrer Übertragbarkeit analysiert. Darüber hinaus wird das Methodenprofil als Teil des Zielsystems für eine methodische Unterstützung abgeleitet bzw. weiter spezifiziert. Die grafische Repräsentation des Methodenprofils ist in Abbildung 4.16 dargestellt und basiert auf dem in Abschnitt 2.1.1.1 eingeführten Produktprofil.

⁷⁵ Die in Abschnitt 4.3 dargestellten Ergebnisse sind teilweise in den Publikationen (Zimmermann et al., 2019) und (Zimmermann, Heimicke et al., 2020) veröffentlicht worden.

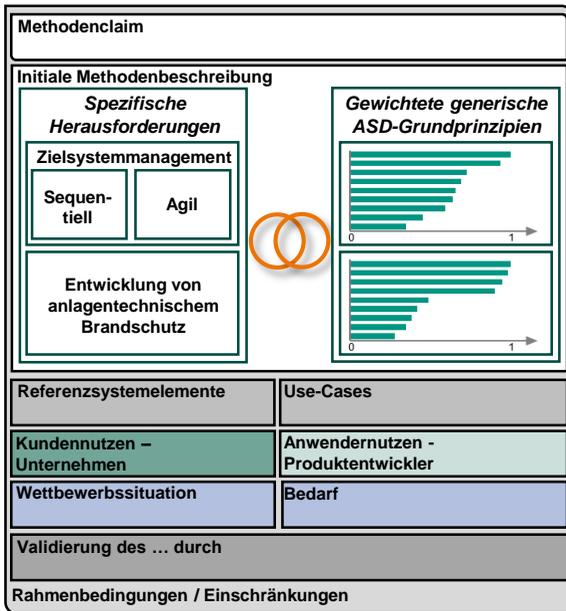


Abbildung 4.16: Schematische Darstellung des Methodenprofils als Teil des Zielsystems der methodischen Unterstützung, wobei die initiale Methodenbeschreibung spezifische Herausforderungen und gewichtete ASD-Grundprinzipien umfasst

Das Methodenprofil beschreibt in seinem Kern folglich das Nutzenbündel der Methode, wobei nachfolgend der Fokus auf den Kunden- und Anwendernutzen der Methode, also den Nutzen für das Unternehmen und den Produktentwickelnden, gelegt wird. Die Felder *Referenzsystem* (vgl. Kapitel 2), *Use-Cases* (vgl. Abschnitt 2.2.2.2, *Wettbewerbssituation* (vgl. Abschnitt 2.3.1 & 2.3.2), *Validierung des ... durch* (vgl. Abschnitt 2.3.1) und *Bedarf* (vgl. Kapitel 1 & Abschnitt 2.3) können auf Basis der zuvor dargelegten Ausführungen rückwirkend befüllt werden. Die Methodenbeschreibung besteht aus spezifischen, durch Literaturanalysen und Interviews identifizierte Herausforderungen sowie den generischen ASD-Grundprinzipien (vgl. Abschnitt 2.1.3). Diese werden den Herausforderungen zugeordnet und auf diese Weise entsprechend gewichtet. Hierbei ist zu beachten, dass die Priorisierung keine ausschließende Auswahl darstellt, sondern vielmehr sämtliche der Prinzipien zur

Unterstützung der Zielsystementwicklung herangezogen werden können. Die Operationalisierung der ASD-Grundprinzipien entspricht einer situations- und bedarfsgerechten Förderung der notwendigen Flexibilität in der Produktentwicklung. Der Fokus der Studie dementsprechend ist die Forschungsfrage:

1.3 Welches Methodenprofil zur Unterstützung der Zielsystementwicklung lässt sich durch Abgleich spezifischer Herausforderungen des Zielsystemmanagements und des anlagentechnischen Brandschutzes mit den Grundprinzipien des Agile Systems Design Ansatzes ableiten?

4.3.1 Studiendesign

Um sowohl die zuvor erarbeiteten Erkenntnisse hinsichtlich des anlagentechnischen Brandschutzes zu vertiefen als auch deren Gültigkeit in weiteren industriellen Anwendungsfällen nachzuweisen, wird die Studie zur Ermittlung der initialen Methodenbeschreibung in zwei verschiedenen Betrachtungsfeldern durchgeführt. Folglich wird einerseits, um Rückschlüsse hinsichtlich der Übertragbarkeit der Ergebnisse ziehen zu können, das Zielsystemmanagement in verschiedenen Branchen betrachtet (Teilstudie 1), wobei dazu zwischen einer sequenziellen und agilen Vorgehensweise des Zielsystemmanagements unterschieden wird; andererseits wird die im Fokus der vorliegenden Arbeit stehende Entwicklung des analagentechnischen Brandschutzes detaillierter beleuchtet (Teilstudie 2). Nach der Identifikation der Herausforderungen werden diese den generischen ASD-Grundprinzipien zugeordnet, um Rückschlüsse hinsichtlich der Relevanz zur Operationalisierung ebendieser im Zuge der Methodenentwicklung gemäß den spezifischen Herausforderungen ableiten zu können. Zu diesem Zweck wird auf die Liste agilitätsbeeinflussender Faktoren nach ALBERS, HEIMICKE, TROST et al. (2020) zurückgegriffen, die über 200 Faktoren beinhaltet, die wiederum den ASD-Grundprinzipien zugeordnet sind. Über eine Zuordnung der Herausforderungen und Faktoren ergibt sich eine Vernetzungsmatrix, aus der die Gewichtung der ASD-Grundprinzipien entsprechend dem Betrachtungskontext abgeleitet werden kann. Zu erwähnen ist, dass prinzipiell alle ASD-Grundprinzipien stets Relevanz besitzen, jedoch die Gewichtung eine entsprechend den spezifischen Herausforderungen situations- und bedarfsgerechte Operationalisierung der relevantesten Prinzipien ermöglicht.

4.3.1.1 Studiendesign Teilstudie 1 – Zielsystemmanagement

Zunächst werden in einer Literaturanalyse Herausforderungen des agilen und des sequenziellen Zielsystem- und Anforderungsmanagements identifiziert, die im Anschluss mit Vertretern der Produktentwicklungsforschung und der industriellen Praxis im Rahmen von teilstrukturierten Interviews diskutiert werden. Zielsetzung ist es,

die Bedeutung der identifizierten Herausforderungen für die Praxis zu verifizieren bzw. zu falsifizieren. Ferner gilt es, weitere bisher nicht erfasste Herausforderungen zu ergänzen. Die nachfolgende Tabelle 4.4 gibt eine Übersicht über die Interviewten. Sämtliche der 17 durchgeführten Interviews wurden aufgezeichnet und transkribiert. Abschließend erfolgt ein Abgleich der Herausforderungen der agilen und der sequenziellen Vorgehensweise, wobei die daraus entstehende konsolidierte Liste für die Zuordnung der ASD-Grundprinzipien genutzt wird.

Tabelle 4.4: Übersicht der Interviewten: sequenzielle Vorgehensweise (A-G); agile Vorgehensweise (H-M)

#	Unternehmen (Branche)	Beschäftigtenzahl	Rolle des Interviewten im Unternehmen
A	Ingenieurbüro	< 50	Geschäftsbereichsleiter
B	Ingenieurbüro	< 50	Geschäftsführer
C	Mittelständisches Unternehmen (anlagentechnischer Brandschutz)	< 1.000	Projektleiter
D	Business Unit eines amerikanischen Konzerns (Automobil Zulieferer)	< 200	Spezialist des Bereichs Versuch und Validierung
E1	Global agierendes deutsches Unternehmen (Antriebstechnik)	> 10.000	Abteilungsleiter Elektronikentwicklung
E2			Leiter Einführung Anforderungsmanagement
E3			Leiter Mechanikentwicklung
F	Unternehmensgruppe (Elektronikbranche)	> 10.000	Projektleiter
G1	US-amerikanisches Unternehmen (Nutzfahrzeugbau)	> 10.000	Teamleiterin Anforderungsmanagement
G2			Globaler Leiter Systems Engineering
H	Hochschule Karlsruhe (Lehrstuhl für Produktentwicklung technischer Güter und Entrepreneurship)	-	Professor
I	Hochschule Karlsruhe (Lehrstuhl für Innovation und Entrepreneurship)	-	Professor
J	Global agierendes deutsches Unternehmen (Werkzeugmaschinenbau)	> 10.000	Spezialist Forschung und Entwicklung
K	Deutscher Mischkonzern (Automobilzulieferer, Gebrauchsgüter, Industrietechnik)	> 100.000	Scrum Master
L	Global agierendes deutsches Unternehmen (Unternehmenssoftware)	> 100.000	Scrum Master
M1	Global agierendes deutsches Unternehmen (Sensorhersteller)	< 10.000	Spezialist Forschung und Entwicklung
M2			Senior Vice President, Custom Development (R&D)

4.3.1.2 Studiendesign Teilstudie 2 – Entwicklung von anlagentechnischem Brandschutz

Um die bisherigen Erkenntnisse zu vertiefen und relevante Herausforderungen des anlagentechnischen Brandschutzes zu identifizieren, wird eine retrospektive Projektanalyse bezüglich eines in der Forschungsumgebung abgeschlossenen Produktentwicklungsprojekts durchgeführt. Im Zuge dieses Entwicklungsvorhabens wurde eine Lösung für die Integration von Rauchwarnmeldern in ein Smarthome-System entwickelt. Diese baut auf den bereits bestehenden Funkrauchwarnmeldern des Unternehmens auf und inkludiert im Kern ein Gateway zwischen den Meldern und dem Internet of Things, das vorrangig der Alarmweiterleitung auf mobile Endgeräte dient. Zusätzlich zu dem Gateway wurden die Apps und die Webanwendung entwickelt (vgl. Abbildung 4.17).

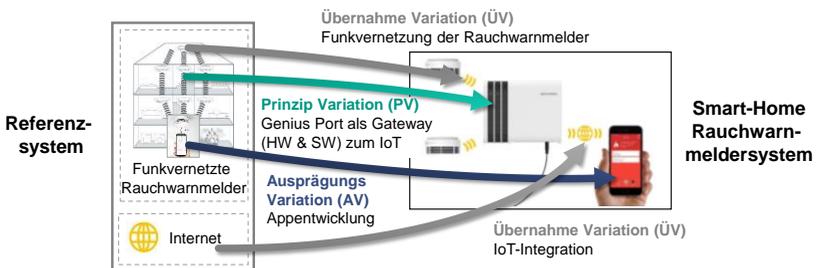


Abbildung 4.17: Genius-Funksystem zur Alarmweiterleitung bestehend aus funkvernetzten Rauchwarnmeldern, Genius Port und Smartphone (Albers & Rapp, 2022)

Um dem Umfang und der Komplexität des Entwicklungsprojekts zu begegnen, entschied man sich zu Beginn, zwei externe Entwicklungsdienstleister zu beauftragen, wobei Dienstleister 1 die physischen Komponenten und Dienstleister 2 die digitalen Komponenten entwickelte. Dienstleister 1 agierte in einem konventionellen Wasserfallmodell, während Dienstleister 2 zu Beginn agil nach der Scrum-Methodik entwickelte.

Im Zentrum der Analyse stehen nachfolgend primär die Herausforderungen, die im Rahmen dieses Entwicklungsprojekts unabhängig der gewählten Vorgehensweise aufgetreten sind. Um diese zu erheben, wurden zunächst die zugehörigen Projektunterlagen gesichtet und Gespräche mit den Projektbeteiligten geführt. Darauf aufbauend wurde ein Interviewleitfaden für teilstrukturierte Interviews abgeleitet, der

nach jedem Interview auf Basis der gesammelten Erkenntnisse überprüft und gegebenenfalls erweitert oder angepasst wurde. Dabei wurden in Summe neun Interviews geführt. Die nachstehende Tabelle 4.5 listet eine Übersicht der Probanden.

Tabelle 4.5: Übersicht der im Rahmen der Studie befragten Probanden

#	Rolle des Interviewten im Unternehmen
A	Geschäftsbereichsleiter Geschäftsfeldentwicklung, Trends und Innovationsmanagement
B	Geschäftsbereichsleiter Forschung und Entwicklung
C	Geschäftsbereichsleiter Unternehmensentwicklung und Digitalisierung
D	Leiter Fremdentwicklung
E	Leiter Entwicklung Architektur
F	Projektleiter 1
G	Projektleiter 2
H	Produktmanagerin Digital und Services (Product Owner)
I	Softwareentwickler

Alle Interviews wurden aufgezeichnet und im Nachgang transkribiert. Im Anschluss erfolgte eine Gewichtung der ASD-Grundprinzipien entsprechend den identifizierten Herausforderungen.

4.3.2 Ergebnisse der Interviewstudien zur Ermittlung des Methodenprofils

Nachfolgend werden die Ergebnisse der durchgeführten Teilstudien dargelegt und darauf aufbauend die Beschreibung des initialen Methodenprofils hergeleitet.

4.3.2.1 Ergebnisse Teilstudie 1 – Zielsystemmanagement

Zunächst werden die Herausforderungen des Zielsystemmanagements in Abhängigkeit des Vorgehens – sequenziell oder agil – beleuchtet. Dabei umfasst das Zielsystemmanagement entsprechend dem in Abschnitt 2.2.2.2 dargelegten Verständnis die Aktivitäten der Zielsystementwicklung und die Begleitaktivitäten Dokumentation sowie Verwaltung.

Herausforderungen des sequenziellen Zielsystemmanagements⁷⁶

Die erste Herausforderung, die betrachtet wird, betrifft das **Erheben der aus Kunden- und Anwendersicht richtigen Ziele und Anforderungen**, wobei sich richtig dabei auf die Erfüllung der Kunden- und Anwenderbedürfnisse bezieht.

- Interviewpartner C (vgl. Tabelle 4.4) nennt dies die zentrale Aufgabe des Zielsystem- und Anforderungsmanagements, die mit der Fragestellung: „was braucht [...] der Kunde“ operationalisiert werden kann. Seiner Ansicht nach besteht darin jedoch eine zentrale Herausforderung, da Kunden dies in den seltensten Fällen artikulieren können.
- Interviewpartner E1 ergänzt dahingehend, dass es „für die meisten Kunden sehr schwierig“ ist, neuartige Ziele und Anforderungen zu kommunizieren. Vielmehr werden bereits bekannte Lösungen beschrieben.
- Dieser Effekt wird, Interviewpartner E2 zufolge, dadurch verstärkt, dass in der Praxis vornehmlich Ziele und Anforderungen von Bestandskunden erfasst werden und somit Ziele und „Anforderungen unbekannter oder neuer Kunden [...] lückenhaft“ vorliegen.
- Interviewpartner B erkennt darin eine weitere Herausforderung. Er konstatiert, dass viele „nicht unbedingt [wissen], wer eigentlich ihre Kunden sind“, wodurch das Erheben der richtigen Ziele aus Kunden- und Anwendersicht noch schwieriger wird.

Die nächste Herausforderung, die beleuchtet wird, umfasst die **Vollständigkeit der erhobenen Ziele und Anforderungen aus Kunden- und Anwendersicht**, die sich neben der Vollständigkeit des Zielsystems ebenfalls auf die Vollständigkeit der Ziele und Anforderungen selbst bezieht.

- Interviewpartner C stellt dahingehend klar, dass „Anforderungen nie vollständig sind“, jedoch zu Beginn bereits das Produkt bzw. seine Eigenschaften etc. möglichst umfassend aus Kunden- und Anwendersicht beschrieben sein müssen, da das Vergessen elementarer Punkte nämlich weitreichende Konsequenzen in der Entwicklung haben kann.
- Interviewpartner B zufolge besteht die Ursache dieser Herausforderung unter anderem darin, dass zwar die Vollständigkeit der erhobenen Ziele mit zunehmender Anzahl befragter Kunden zunimmt, jedoch gleichzeitig die Kosten steigen. Er führt aus: „Ich kann natürlich eine beliebig große Stichprobe wählen, oder aber durch eine kleine Stichprobe ein größeres Risiko eingehen und dafür Kosten sparen“.

⁷⁶ Sämtliche gefundenen Herausforderungen sind in Tabelle A.4 im Anhang dargestellt. Nachfolgend wird eine Auswahl an Herausforderungen näher beleuchtet.

Eine weitere Herausforderung des sequentiellen Zielsystemmanagements besteht hinsichtlich der **Qualität der erhobenen Ziele und Anforderungen**, die neben der Lösungsneutralität beispielsweise die Verständlichkeit beinhaltet.

- Interviewpartner A führt dahingehend aus, dass „das Schreiben einer guten Requirement [...] definitiv eine Herausforderung“ ist. Er ist in seinem Alltag oftmals damit konfrontiert, dass formulierte Ziele und Anforderungen häufig nicht hinsichtlich ihrer Erfüllung überprüfbar sind.
- Interviewpartner C zufolge wird im Zuge des Zielsystem- und Anforderungsmanagements „oft [...] Anforderung und Lösung verwechselt“, was „ganz schlechte Anforderungen [sind], weil sie den Lösungsraum sofort beschneiden“. Dies bestätigt Proband A, der die Ursache darin sieht, dass ein Ingenieur „immer die Neigung [hat,] schon zu Lösungen zu tendieren“, statt Anforderungen zu formulieren.
- Auch die Eindeutigkeit ist nach Ansicht der Interviewpartner C, F, E1, F und G ein entscheidendes Qualitätsmerkmal. Insbesondere die zunehmende Interdisziplinarität der Produktentwicklung führt dazu, dass „Anforderungen fehlinterpretiert werden“⁷⁷, wobei dabei auch das „beidseitige Verständnis [...] was hinter der Anforderung steckt“⁷⁸ zwischen Kunden, Anwendern und Entwickelnden eine Herausforderung darstellt, vor allem im Zusammenspiel mit der notwendigen Lösungsneutralität von Zielen und Anforderungen.
- Ein weiteres Qualitätsmerkmal von Zielen und Anforderungen umfasst die inhaltliche Qualität. So beschreibt nach Ansicht der Interviewpartner A und C „eine gute Anforderung [...] den Kundenschmerz“⁷⁹. Wichtig ist hierbei jedoch zu evaluieren, „ob diese [Anforderung] überhaupt zu einem Marktpotenzial passt, [...] oder der Markt vielleicht etwas ganz Anderes fordert“.⁸⁰

Dahingehend beläuft sich auch eine weitere relevante Herausforderung: der zu geringe **Stellenwert der frühen und kontinuierlichen Validierung**.

- Interviewpartner B befindet, dass „viele Anforderungen gar nicht notwendig, unnötig hoch oder unrealistisch formuliert“ sind oder „der Kunde eigentlich etwas Anderes benötigt“.
- Interviewpartner E2 formuliert darauf aufbauend, dass es essenziell ist „zu hinterfragen, ob man diese [aus den Anforderungen und Zielen resultierenden Produkteigenschaften] wirklich braucht“. Allerdings wird die dabei notwendige Validierung in der Praxis lediglich selten durchgeführt.

⁷⁷ Interviewpartner F

⁷⁸ Interviewpartner F

⁷⁹ Interviewpartner C

⁸⁰ Interviewpartner A

- Interviewpartner A führt aus, dass die „Validierung zu spät gemacht wird und zu wenig“ und ergänzt mit Blick auf die entwickelnden Unternehmen: die Validierung „konsequent durchzuziehen, das machen wirklich wenige“.
- Auch Interviewpartner C konstatiert, dass „das Thema frühe Validierung sträflichst“ vernachlässigt wird.
- Interviewpartner E1 führt diesbezüglich aus, dass sich in der Praxis vorrangig auf die Verifizierung fokussiert wird.
- Interviewpartner A erkennt darin eine zentrale Ursache für die ausbleibende Validierung. Seiner Meinung nach ist in der Praxis die Abgrenzung zwischen der Verifizierung und der Validierung nicht hinreichend bekannt, wodurch „sich immer nur auf Verifikation beschränkt“ wird.
- Eine weitere Ursache für die ausbleibende Validierung sieht Interviewpartner D in dem steigenden Zeit- und Kostendruck. Er führt aus, dass „eigentlich gar keine Zeit mehr [verfügbar ist,] richtig zu validieren“.

Auch das zuvor bereits thematisierte fehlende **Bewusstsein der Produktentwickelnden für die vorliegenden Unsicherheiten** wird als eine Ursache der ausbleibenden Validierung und damit Herausforderung eingestuft.

- Interviewpartner D führt dahingehend aus: dass „Forderungen [...] [häufig] nicht zu 100 % nachvollziehbar“ sind, ob diese nun aber validiert werden, stark davon abhängig ist, welche Mitarbeiter in dem Projekt tätig sind“.
- Auch Interviewpartner A unterstreicht, dass sich viele hinsichtlich der Unsicherheiten nur unzureichend bewusst sind, weswegen der Stellenwert der Validierung in der industriellen Praxis eher gering ist.
- Interviewpartner C unterstreicht dieses fehlende Bewusstsein dahingehend, dass er artikuliert, dass viele Entwickelnde „die Kundenanforderungen als Gott-gegeben“ auffassen.
- Auch in Unternehmen E wird das fehlende Bewusstsein für Unsicherheiten als eine zentrale Ursache der ausbleibenden Validierung betrachtet.

Herausforderungen des agilen Zielsystemmanagements⁸¹

Im Zuge dieser Betrachtung wurde eine Vielzahl an Herausforderungen identifiziert, wobei sich einige explizit auf die agile Vorgehensweise zurückführen lassen. Dabei sind beispielsweise Herausforderungen zu nennen, die die Produktarchitektur betreffen und aus der Tatsache resultieren, dass man im Rahmen einer agilen Vorgehensweise versucht, sich Optionen offen zu halten, oder die damit verbundenen

⁸¹ Sämtliche gefundenen Herausforderungen sind in Tabelle A.5 im Anhang dargestellt. Nachfolgend wird eine Auswahl an Herausforderungen näher beleuchtet.

Herausforderungen der Koordination der schnittstellenübergreifend arbeitenden interdisziplinären Entwicklungsteams. Nachfolgend wird gleichwohl das Augenmerk verstärkt auf die bereits eingeführten Themenfelder der Herausforderungen der sequentiellen Vorgehensweise gerichtet und Gemeinsamkeiten sowie Unterschiede der Ausprägung beleuchtet.

Die erste Herausforderung, die dabei näher betrachtet wird, umfasst das **Erheben der aus Kunden- und Anwendersicht richtigen Ziele und Anforderungen**

- Interviewpartner H zufolge gilt es dabei zunächst zu klären, „wer sind [...] die richtigen Zielkunden? Wen frage ich bei den Zielkunden?“ und „wie viel Aussagekraft hat das [...] tatsächlich“?
- Interviewpartner I legt dar, dass es schwierig ist, die richtigen Ziele und Anforderungen von Kunden und Anwendern übermittelt zu bekommen.

Auch in Kontext der agilen Vorgehensweise konnten Herausforderungen identifiziert werden, die die Validierung betreffen. Dabei wird zunächst das **Bewusstsein der Produktentwickelnden für die vorliegenden Unsicherheiten** näher betrachtet.

- Sechs der sieben befragten Probanden geben dabei an, dass es entscheidend für den Erfolg der Produktentwicklung ist, dass den Produktentwickelnden bewusst ist, dass Marktunsicherheiten vorliegen können.
- Interviewpartner M2 führt diesbezüglich aus, dass das Bewusstsein „unheimlich wichtig ist“ und wenn es nicht vorhanden ist, es „zwingend herbeigeführt“ werden muss.
- Bezüglich der Ausprägung des entsprechenden Bewusstseins vertreten die Probanden unterschiedliche Sichtweisen. So konstatiert Interviewpartner M1, dass das Bewusstsein der Produktentwickelnden für Unsicherheiten in den von ihm betreuten Projekten „nicht [...] wie [man] es bräuchten“ vorhanden ist.
- Andere Probanden führen hingegen aus, dass durch die Vorgabe der agilen Vorgehensweise, am Ende eines Sprints validieren zu müssen, auch das Bewusstsein vorhanden ist. So führt Interviewpartner J aus, dass das Bewusstsein „vorhanden [...] [ist], weil es [...] vorgeschrieben ist“.

Eine weitere Herausforderung – **Bereitstellung eines validierbaren Inkrements am Ende jedes Sprints** – lässt sich unmittelbar aus der Verankerung der Validierung in jedem Sprint folgern.

- Interviewpartner M2 führt diesbezüglich aus, dass es im Rahmen der Entwicklung von „Software [...] gut möglich sei“, ein validierbares Inkrement bereitzustellen, bei „Embedded-Software wird es dann zum Beispiel schwierig, wenn [man] [...] kein[en] Träger für diese Software habe“ und besonders schwer wird es dann bei mechatronischen Systemen.

- Interviewpartner J ergänzt, dass als Gründe dafür die langen „Produktionszeiten“ und „Beschaffungszeiten“ für die Hardwarekomponenten zu nennen sind.
- Weiter gilt es seiner Ansicht nach, früh im Sprint die Qualität des zu validierenden Inkrements auf Basis der Validierungsziele festzulegen.
- Der Ansicht von Interviewpartner K zufolge ist es häufig jedoch auch nicht möglich, „dass [...] [in jedem Sprint] ein nutzbares Inkrement“ entsteht.

Abgleich der Herausforderungen des sequenziellen und des agilen Zielsystemmanagements⁸².

Nachfolgend wird ein Abgleich der Herausforderungen durchgeführt, um eine konsolidierte Darstellung zu erhalten. Zunächst erfolgt eine Gegenüberstellung der identifizierten Herausforderungen.

Im Themenfeld **Gewinnung von Zielen und Anforderungen** wird im Kontext der sequenziellen Vorgehensweise beispielsweise die Vollständigkeit des Zielsystems als Herausforderung diskutiert. Im Zuge der agilen Vorgehensweise weist diese Herausforderung keine Relevanz auf. Vielmehr definiert man im Zuge dieser den Umfang des Entwicklungsvorhabens explizit vage, um sich bei der Realisierung Optionen offen zu halten, was laut Ansicht der befragten Probanden wiederum eine Herausforderung bzw. den Ursprung weiterer Herausforderungen darstellt. So ist nach Ansicht der Experten beispielsweise der Umgang mit den auftretenden Änderungen wie beispielsweise das Abschätzen der Tragweite oder die Gewährleistung der Aktualität des Backlogs herausfordernd. Eine gemeinsame Herausforderung im Kontext der Gewinnung von Zielen und Anforderungen beläuft sich auf das Identifizieren potentieller Kunden und Anwender sowie die Identifikation der aus ihrer Sicht richtigen Ziele und Anforderungen.

Auch hinsichtlich des **Umgangs mit vorhandenen Unsicherheiten durch die Validierung** werden verschiedene Herausforderungen diskutiert. Während im Kontext der sequenziellen Ansätze ein zu geringes Bewusstsein der Produktentwickelnden für die Unsicherheiten als Ursache für ausbleibende Validierung und damit eine zentrale Herausforderung des Zielsystemmanagements diskutiert wird, belaufen sich die Herausforderungen im Themenfeld Validierung im Zuge der agilen Vorgehensweisen vorrangig auf die Umsetzung und Durchführung der Validierung. So wird beispielsweise die Herausforderung genannt, am Ende jedes Sprints ein validierbares Teilprodukt bereitstellen zu können, da die Herstellung dieses, gerade im Zuge der physischen Produkte aufwendig oder die Auswahl der zu validierenden

⁸² Eine tabellarische Aufbereitung der Gegenüberstellung der Herausforderungen findet sich im Anhang der Arbeit (vgl. Tabelle A.6).

Eigenschaften, Ziele oder Anforderungen nicht trivial ist. Weiter existieren im Themenfeld Validierung einige organisatorische Herausforderungen wie die Geheimhaltung oder die Verfügbarkeit der relevanten Kunden und Anwender.

Zugeordnete ASD-Grundprinzipien

Um eine bedarfsspezifische Gewichtung der ASD-Grundprinzipien vorzunehmen und damit die Relevanz ebendieser für eine Operationalisierung zu ermitteln, werden auf Basis der konsolidierten Liste von Herausforderungen agilitätsbeeinflussende Faktoren ausgewählt. Zu diesem Zweck werden zunächst Einzelbetrachtungen der beiden Anwendungsfelder (sequenzielles und agiles Zielsystemmanagement) durchgeführt. Dabei konnten den Herausforderungen des sequenziellen Zielsystem- und Anforderungsmanagements 31 Einflussfaktoren und im Zuge der agilen Vorgehensweisen 61 Faktoren zugeordnet werden, wobei eine Überschneidung von 14 Faktoren vorlag. Folglich sind 78 Faktoren für die überlagerte Betrachtungsweise von Relevanz. Die sich daraus ergebende Priorisierung der ASD-Grundprinzipien ist nachfolgend abgebildet (vgl. Abbildung 4.18).

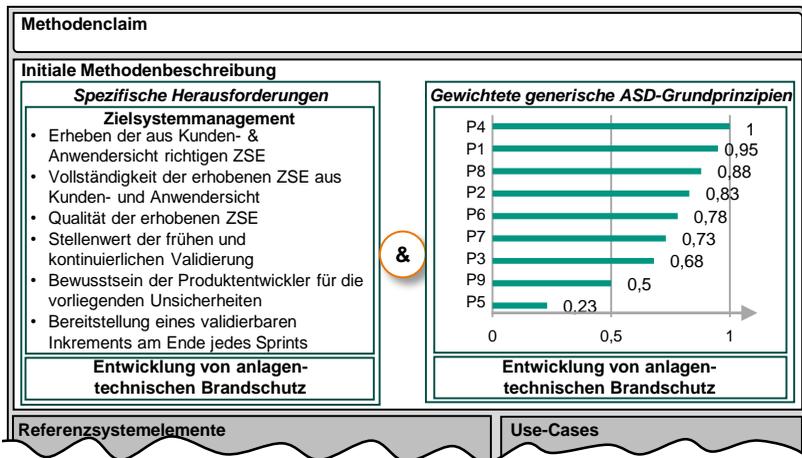


Abbildung 4.18: Herausforderungen des agilen und sequenziellen Zielsystemmanagements und ermittelte Rangfolge der zugeordneten ASD-Grundprinzipien (Albers, Heimicke, Spadinger, Reiß, Breitschuh, Richter, Bursac & Marthaler, 2019b) hinsichtlich der Relevanz; dem relevantesten ASD-Grundprinzip wird der Wert 1 zugeordnet, alle weiteren Werte werden relativ zu diesem dargestellt (Zimmermann, Heimicke et al., 2021, S. 254)

Dabei ergibt sich, dass die drei relevantesten Prinzipien hinsichtlich einer Operationalisierung zur Begegnung der identifizierten Herausforderungen folgende sind:

- **(P4)** Prinzip 4 – Jedes Prozesselement lässt sich im ZHO-Modell verorten und jede Aktivität basiert auf den Grundoperatoren Analyse und Synthese
- **(P1)** Prinzip 1 – Der Mensch steht im Zentrum der Produktentstehung
- **(P8)** Prinzip 8 – Frühe und kontinuierliche Validierung dient dem kontinuierlichen Abgleich zwischen Problem und dessen Lösung

Durch die Operationalisierung von *ASD-Grundprinzip 4* kann die Zuordnung der Elemente zum Systemtripler gefördert werden und damit die Entwickelnden bei der Identifikation von Wissen oder dem passenden Aufbau von Prototypen unterstützt werden. Demgemäß kann das Bewusstsein der Entwickelnden für vorliegende Wissenslücken sensibilisiert werden. Bezüglich *Prinzip 1* ist zu erwähnen, dass dieses umso relevanter wird, je größer das zugehörige Betrachtungsfeld ist, da es die meisten agilitätsbeeinflussenden Faktoren bedient (Albers, Heimicke, Trost et al., 2020; Albers, Heimicke & Trost, 2020). Durch die Operationalisierung dieses Prinzips gilt es, sowohl die Kunden- und Anwenderintegration in die Zielsystementwicklung zu fördern als auch die Methoden systematisch hinsichtlich der Rahmenbedingungen des Handlungssystems auszurichten. Die Operationalisierung von *Prinzip 8* kann den Stellenwert der frühen und kontinuierlichen Validierung steigern. Bei Betrachtung der zuvor identifizierten Herausforderungen wird deutlich, dass viele die Thematik der Validierung inkludieren. Folglich ist es wenig überraschend, dass die Operationalisierung dieses Prinzips einen derartigen Stellenwert einnimmt.

4.3.2.2 Ergebnisse Teilstudie 2 – Entwicklung von anlagentechnischem Brandschutz

Nachfolgend werden zunächst die im Betrachtungsfeld anlagentechnischer Brandschutz identifizierten relevanten Herausforderungen thematisiert, bevor die Priorisierung der ASD-Prinzipien vorgestellt wird.

Herausforderungen des anlagentechnischen Brandschutzes⁸³

Im Zuge dieser Betrachtung wurden 21 Herausforderungen identifiziert. Einige lassen sich explizit auf die beschriebenen Projektcharakteristika zurückführen. Beispielsweise gilt es dabei, die Größe und die Komplexität des Entwicklungsprojekts zu nennen, die zu Herausforderungen der interdisziplinären Zusammenarbeit geführt haben, oder beim Erarbeiten der Systemarchitektur. Nachfolgend wird jedoch

⁸³ Sämtliche gefundenen Herausforderungen sind in Tabelle A.7 im Anhang dargestellt. Nachfolgend wird eine Auswahl an Herausforderungen näher beleuchtet.

verstärkt das Augenmerk auf Herausforderungen gerichtet, die unmittelbar auf das Zielsystem- und Anforderungsmanagement rückzuführen sind.

Die erste Herausforderung, die in diesem Zuge betrachtet wird, umfasst das **fehlende einheitliche Verständnis des Projektziels**.

- Interviewpartner F (vgl. Tabelle 4.5) führt dahingehend aus: „das schwierigste war das Verständnis [...] gleich zu bekommen [...]. Da war nicht unbedingt [...] das gleiche Bild, das gleiche Verständnis, das gleiche Ziel“ vorhanden. Seiner Meinung nach ist dies unter anderem darauf zurückzuführen, dass „Ziele [...] zum Teil konträr“ sind.
- Interviewpartner D beschreibt: „wenn man sich unterhalten hat, hat man gemerkt, dass man zum Teil eine ganz andere Vorstellung von dem hat, was das Produkt nachher können soll als der Andere“.
- Dies zeigt sich ebenfalls in den Unterschieden in der Formulierung des zentralen Projektziels, worum sämtliche Probanden im Rahmen der Interviews gebeten wurden (vgl. Abbildung 4.19).



Abbildung 4.19: Darstellung der retrospektiven Formulierung des zentralen Projektziels durch 4 Probanden lässt deutlich werden, dass diese unterschiedlich sind; lediglich bei einem der Probanden umfasst das Projektziel jedoch die Anwendung bzw. den damit einhergehenden Kunden- und Anwendernutzen (Zimmermann et al., 2019)

Bei der Analyse der Formulierungen wird erkennbar, dass diese Projektziele stark unterschiedlich formuliert sind, wobei dies auch von der Rolle des Probanden im Projektteam abhängig ist. Es ist indes erkennbar, dass nur bei einem der Probanden der Kunden- und Anwendernutzen im Zentrum des Projektziels steht. Interessant ist in diesem Kontext, dass die meisten Probanden angeben, dass sie nicht davon ausgehen, dass „alle Beteiligten [...] das gleiche Bild“⁸⁴ hinsichtlich des Projektziels hatten und wenn nicht „alle das gleiche Ziel verfolgen, [...] dann wird es schwierig“⁸⁵.

Eine weitere Herausforderung, die identifiziert wurde, umfasst die **Qualität der erhobenen Ziele und Anforderungen**.

- Interviewpartner E führt dies darauf zurück, dass aufgrund der Komplexität des Projekts „niemand in der Lage war zu beschreiben, wie das System aussehen soll“.
- Auch der „Detaillierungsgrad“⁸⁶ der Ziele und Anforderungen variierte sehr stark. So waren manche dieser „sehr detailliert“, insbesondere wenn es „viele Zusammenhänge mit dem [bereits bestehenden] Rauchwarnmelderportfolio“⁸⁷ gab, da dahingehend bereits viel Fachwissen bei den Entwicklern vorhanden war. Allerdings bestanden auch einige Ziele und Anforderungen, die lediglich oberflächlich den SOLL-Zustand beschrieben, insbesondere, wenn diese im Kontext der digitalen Anwendungen standen, da hier eine geringere Wissensbasis vorhanden war.
- Dieser geringere Reifegrad führte nach Ansicht von Interviewpartner E dann auch „teilweise [...] [zu] Falschumsetzungen“, da diese Ziele und Anforderungen zu viel Interpretationsspielraum zuließen. Weiter führt der Proband aus, dass es somit „eine ganz große Herausforderung gewesen [ist], wie [...] eine Projektabnahme“ zu erreichen ist.

Die letzte zu betrachtende Herausforderung ist der zu geringe **Stellenwert der frühen und kontinuierlichen Validierung**.

- Interviewpartner B, der im Projekt eine beobachtende Rolle innehatte, konstatiert, dass „man im ganzen Projekt nie validiert hat, man hat nie mit zukünftigen Kunden [gesprochen], [...] man hat das immer nur intern behalten“.
- Eine Ursache sieht ein Interviewpartner A darin, dass man „gar kein Bedürfnis [hatte] nachzufragen“, also das Bewusstsein für die vorliegenden Unsicherheiten nicht ausreichend vorhanden war

⁸⁴ Interviewpartner C

⁸⁵ Interviewpartner E

⁸⁶ Interviewpartner I

⁸⁷ Interviewpartnerin H

Zugeordnete ASD-Grundprinzipien

Für die herausforderungsspezifische Gewichtung der ASD-Grundprinzipien werden den Herausforderungen 57 Einflussfaktoren aus der Faktorenliste zugeordnet. Dabei ergibt sich die nachfolgende Gewichtung (vgl. Abbildung 4.20).

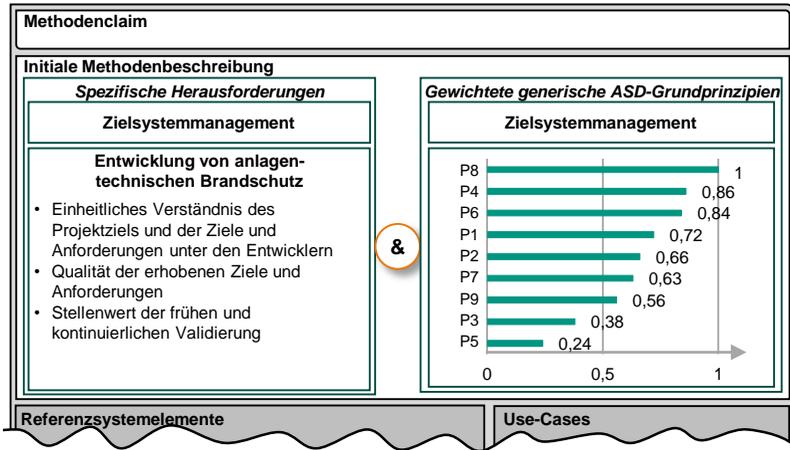


Abbildung 4.20: Herausforderungen des anlagentechnischen Brandschutzes und ermittelte Rangfolge der ASD-Grundprinzipien (Albers, Heimicke, Spadinger, Reiß, Breitschuh, Richter, Bursac & Marthaler, 2019b); dem relevantesten ASD-Grundprinzip wird der Wert 1 zugeordnet, alle weiteren Werte werden relativ zu diesem dargestellt

Die drei Prinzipien, deren Operationalisierung zur Begegnung der identifizierten Herausforderungen am relevantesten ist, sind dementsprechend:

- **(P8)** Prinzip 8 – Frühe und kontinuierliche Validierung dient dem kontinuierlichen Abgleich zwischen Problem und dessen Lösung
- **(P4)** Prinzip 4 – Jedes Prozesselement lässt sich im ZHO-Modell verorten und jede Aktivität basiert auf den Grundoperatoren Analyse und Synthese
- **(P6)** Prinzip 6 – Jedes Produkt wird auf Basis von Referenzen entwickelt

Die Relevanz von Prinzip 8 und 4 ist durch den geringen Stellenwert der Validierung in dem analysierten Projekt begründet. Die systematische Operationalisierung von Prinzip 4 unterstützt die Sensibilisierung des Bewusstseins der Entwickelnden für

die vorliegenden Wissens- oder Definitionslücken und hinsichtlich des gezielten Erstellens von Prototypen.

Die Operationalisierung von *Prinzip 6* adressiert die systematische Nutzung von Referenzsystemelementen und ermöglicht es damit, einen Wettbewerbsvorteil dadurch zu schaffen, dass Entwicklungsrisiken gesenkt werden können. In diesem Zuge ist insbesondere die Auswahl der Referenzsystemelemente bedeutsam, um einen geeigneten Kunden- und Anwendernutzen zu realisieren, gleichzeitig jedoch den Anbieternutzen, durch Kontrolle des Neuentwicklungsanteils, zu optimieren.

4.3.3 Zwischenfazit

Im Rahmen der zuvor dargelegten Studie konnten zentrale Herausforderungen des Zielsystemmanagements in Abhängigkeit von der entsprechenden Vorgehensweise – sequenziell oder agil – identifiziert werden. Es konnte gezeigt werden, dass insbesondere das Erheben der aus Kunden- und Anwendersicht richtigen Zielsystemelemente, aber auch die Vollständigkeit der erhobenen Ziele und Anforderungen zentrale Herausforderungen darstellen. Durch das breitere branchenübergreifende Probandenpanel konnte nachgewiesen werden, dass der geringe Stellenwert der Validierung und das fehlende Bewusstsein auch in anderen Branchen und Unternehmen zentrale Herausforderungen des Zielsystemmanagements darstellen. Dies lässt den Schluss zu, dass die in den Abschnitten 4.1 und 4.2 in der Untersuchungsumgebung Hekatron Brandschutz gesammelten Erkenntnisse zumindest partiell auf andere Anwendungsfälle übertragbar sind.

Darüber hinaus konnte das Methodenprofil konkretisiert werden, das bisher primär durch die in Kapitel 2 beschriebenen Grundlagen, wie beispielsweise die Aktivitäten der Zielsystementwicklung (vgl. Abschnitt 2.2.2.2), die Use-Cases der Methodenanwendung darstellen, beschrieben war. Im Rahmen dieses Kapitels konnte die initiale Methodenbeschreibung, die durch die identifizierten Herausforderungen des Zielsystemmanagements und des anlagentechnischen Brandschutzes, die es durch die Methoden der Zielsystementwicklung zu adressieren gilt und die dazu zu operationalisierenden ASD-Grundprinzipien beschrieben werden. Entsprechend gilt es die Methodenanwender insbesondere beim Erheben der aus Kunden- und Anwendersicht richtigen Ziele und Anforderungen zu unterstützen und das Bewusstsein hinsichtlich der vorliegenden Marktunsicherheiten zu steigern. Dies kann insbesondere durch die Adressierung der ASD-Grundprinzipien 4, 1, 8 und 6 erreicht werden. In Abbildung 4.21 ist das entsprechende Methodenprofil abgebildet. In der sich anschließenden Präskriptiven Studie sind dementsprechend Methoden zu synthetisieren, die das dargelegte Methodenprofil erfüllen und damit den Umgang mit Marktunsicherheiten in Rahmen der initialen Zielsystementwicklung unterstützen.

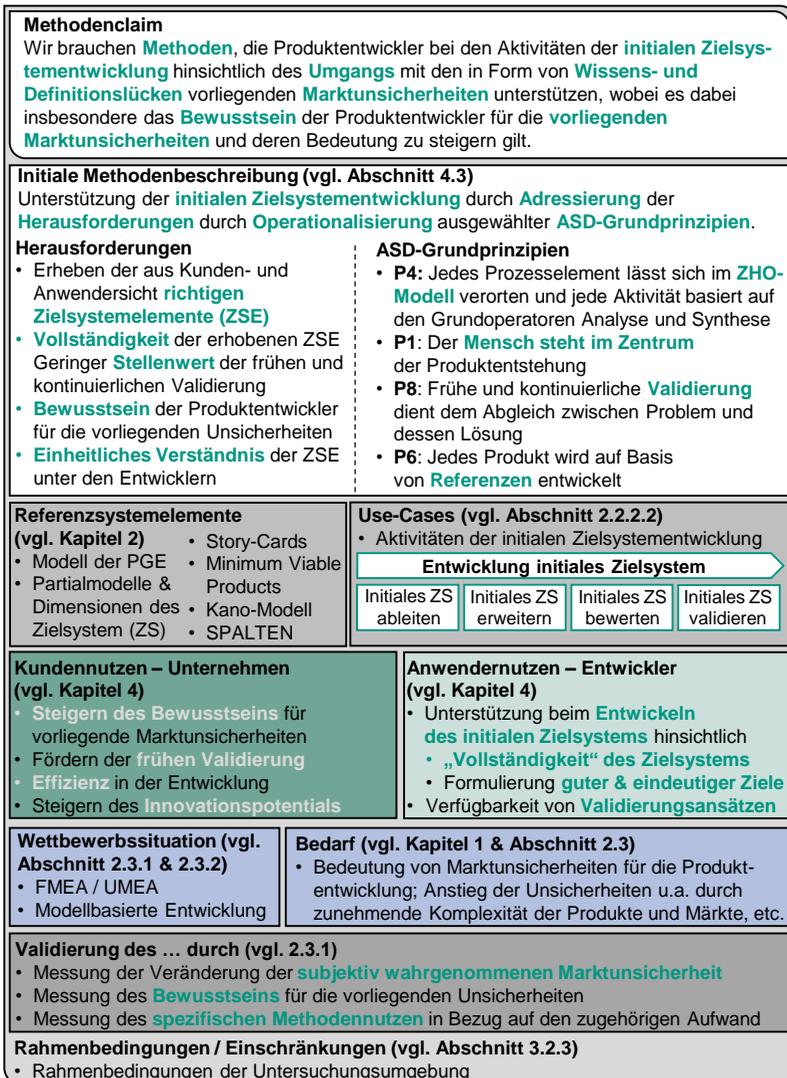


Abbildung 4.21: Abgeleitetes Methodenprofil als Teil des Zielsystems der nachfolgend zu entwickelnden Methoden zur initialen Zielsystementwicklung

4.4 Fazit

Die zuvor dargelegten empirischen Studien wurden mit dem Ziel durchgeführt, einen Einblick in die Entwicklung des anlagentechnischen Brandschutzes zu erlangen und dabei ein tiefgehendes Verständnis hinsichtlich des Umgangs mit Marktunsicherheiten in ebendieser aufzubauen. Dazu wurden folgende Teilfragen betrachtet:

1.1 Welchen Stellenwert hat die frühe Validierung zur Reduktion von Wissenslücken hinsichtlich Marktunsicherheit in der Entwicklung von anlagentechnischem Brandschutz in der Untersuchungsumgebung? (vgl. Abschnitt 4.1)

Durch eine aktivitätenbasierte, retrospektive Modellierung zweier Entwicklungsprojekte konnten Rückschlüsse hinsichtlich des Stellenwerts der Validierung im Rahmen des anlagentechnischen Brandschutzes gezogen werden. Dabei wurde festgestellt, dass im Rahmen der beiden Entwicklungsprojekte die Produktentwicklungsaktivität *Validieren und Verifizieren* eher spät im Entwicklungsprozess durchgeführt wird und die erfassten Aktivitäten primär der Verifizierung dienen. Daraus kann initial deduziert werden, dass der Stellenwert der Validierung als zentrale Aktivität zum Umgang mit Marktunsicherheiten gesteigert werden sollte.

1.2 Inwiefern sind Marktunsicherheiten, mit denen Zielsystemelemente behaftet sind, und Ansätze zum Umgang mit diesen im Bewusstsein von Produktentwickelnden der Untersuchungsumgebung verankert? (vgl. Abschnitt 4.2)

Im Rahmen der dreistufigen interview- und fragebogenbasierten Studie konnte bestätigt werden, dass der Stellenwert der Validierung in der Untersuchungsumgebung eher gering ist. Weiter konnten Gründe für diesen geringen Stellenwert identifiziert werden. Nach Ansicht der Führungskräfte der Untersuchungsumgebung sind die nachfolgenden Gründe ursächlich für die IST-Situation:

- Normative Prägung der Entwicklung von anlagentechnischem Brandschutz
- Starke Innenorientierung der Produktentwicklung
- Umgang mit der Diversität von Kunden und Anwendern
- Gefahr, dass Ideen an Wettbewerb verloren gehen
- Aufwand, der mit der Validierung und potentiell notwendigen Änderungen einhergeht
- Mangelndes Know-How insbesondere im Hinblick auf die frühe Validierung
- Notwendigkeit der frühen Validierung ist den Produktentwickelnden nicht ausreichend bewusst
- Vorliegende Marktunsicherheiten sind den Produktentwickelnden nicht ausreichend bewusst

Eine Evaluation der zuvor dargelegten Gründe mit drei Mitgliedern der Geschäftsleitung macht deutlich, dass insbesondere das fehlende Bewusstsein der Produktentwickelnden für die vorliegenden Marktunsicherheiten, mit denen Zielsystemelemente behaftet sind, ein Hemmnis hinsichtlich eines adäquaten Umgangs mit den Marktunsicherheiten darstellt. Darüber hinaus konnten erste Handlungspotentiale bezüglich der Methoden der Zielsystementwicklung abgeleitet werden, die beim Umgang mit Marktunsicherheiten unterstützen. So wurden neben der Steigerung des Bewusstseins der Produktentwickelnden für die vorliegenden Unsicherheiten eine adäquate Berücksichtigung der Kunden- und Anwendersicht bei der Formulierung von Zielsystemelementen, die systematische Identifikation von Marktunsicherheiten und die Förderung der frühen Validierung als zentrale Stellhebel identifiziert.

1.3 Welches Methodenprofil zur Unterstützung der Zielsystementwicklung lässt sich durch Abgleich spezifischer Herausforderungen des Zielsystemmanagements und des anlagentechnischen Brandschutzes mit den Grundprinzipien des Agile Systems Design Ansatzes ableiten? (vgl. Abschnitt 4.3)

Abschließend wurde das Methodenprofil für die methodische Unterstützung, die es in der sich anschließenden *Präskriptiven Studie* zu entwickeln gilt, abgeleitet. Dazu wurden durch eine Literaturanalyse und Interviewstudien spezifische Herausforderungen der Zielsystementwicklung – sequenziell und agil – und des anlagentechnischen Brandschutzes identifiziert und durch den Abgleich mit agilitätsbeeinflussenden Faktoren eine Gewichtung der generischen ASD-Grundprinzipien vorgenommen. Da die Interviewstudie branchenübergreifend durchgeführt worden ist, konnte die Übertragbarkeit der zuvor generierten Erkenntnisse hinsichtlich des geringen Stellenwerts der Validierung und des fehlenden Bewusstseins für Marktunsicherheiten initial gezeigt werden. Folglich bilden diese beiden Herausforderungen einen zentralen Aspekt des Methodenprofils, den es durch die Operationalisierung, also die Berücksichtigung bei der Methodenentwicklung, der entsprechenden ASD-Grundprinzipien zu adressieren gilt. Weitere Herausforderungen, die es bei der Methodenentwicklung zu berücksichtigen gilt, sind insbesondere die Qualität und die Vollständigkeit der zu erhebenden Anforderungen.

Damit zeigt die *Deskriptive Studie 1*, dass im Rahmen der Zielsystementwicklung Handlungspotentiale in Bezug auf den Umgang mit vorliegenden Marktunsicherheiten bestehen, die es anhand von Methoden, die durch das entsprechende Methodenprofil beschrieben werden, zu adressieren gilt.

5 Methoden zum Umgang mit Marktunsicherheiten bei der initialen Zielsystementwicklung

Nachfolgend wird im Sinne der DRM eine Präskriptive Studie durchgeführt, um die in Kapitel 3 abgeleitete zweite Forschungsfrage zu beantworten:

2. Wie sind Methoden zur Unterstützung der initialen Zielsystementwicklung zu gestalten, um im Modell der PGE – Produktgenerationsentwicklung den Umgang mit Marktunsicherheiten – Identifizieren und Reduzieren – zu fördern?

Die Zielsetzung besteht somit darin, Methoden abzuleiten, die die im vorhergehenden **Kapitel 4** identifizierten Potentiale adressieren, sowie die definierten Rahmenbedingungen der Mechatroniksystementwicklung mit Fokus der Untersuchungsumgebung Hekatron Brandschutz berücksichtigen und damit Produktentwickelnde bei der Entwicklung von Zielsystemen bezüglich des Umgangs mit Marktunsicherheiten unterstützen. Entsprechend den empirischen Analysen ist die Sensibilisierung des Bewusstseins der Produktentwickelnden hinsichtlich der vorliegenden Marktunsicherheiten ein zentraler Stellhebel, wobei die systematische Identifikation von Unsicherheiten hierbei von besonderer Relevanz ist. Darüber hinaus muss entsprechend der Rückmeldung der Probanden untersucht werden, wie Kunden und Anwender bzw. deren Perspektive systematisch in die initiale Zielsystementwicklung integriert werden kann, um Marktunsicherheiten vorliegend in Form von Wissens- und Definitionslücken zu reduzieren. Wissenslücken lassen sich durch fehlendes Wissen hinsichtlich der Validität von Annahmen in Bezug auf Kunden- und Anwenderbedürfnisse beschreiben. Definitionslücken sind aus Kunden- und Anwendersicht fehlende oder unvollständige Zielsystemelemente. Insbesondere gilt es, den Transfer von Wissen hinsichtlich der Kunden- und Anwenderbedürfnisse von bestehenden Referenzsystemelementen zu fördern und die frühe und kontinuierliche Validierung in die Zielsystementwicklung zu integrieren. Zu diesem Zweck wurden aus Forschungsfrage 2 vier Unterfragen abgeleitet, die jeweils eine Aktivität der initialen Zielsystementwicklung adressieren und nachfolgend beantwortet werden:

- 2.1 Wie ist eine Methode zu gestalten, um beim Ableiten des initialen Zielsystems bei der Auswahl von Referenzsystemelementen im Modell der PGE auf Basis des Kano-Modells zu unterstützen, um Marktunsicherheiten zu reduzieren? (vgl. Kapitel 5.1)

2.2 Wie ist eine Methode zur Integration von Kunden und Anwendern beim Erweitern des initialen Zielsystems zu gestalten, mit dem Ziel Definitionslücken zu schließen und damit Marktunsicherheiten zu reduzieren? (vgl. Kapitel 5.2)

2.3 Wie ist eine Methode zum Bewerten des initialen Zielsystems zu gestalten, um systematisch mit Marktunsicherheiten behaftete Zielsystemelemente zu identifizieren und damit das Bewusstsein der Produktentwickelnden hinsichtlich der vorliegenden Marktunsicherheit zu steigern? (vgl. Kapitel 5.3)

2.4 Wie ist eine Methode zur Integration der Entwicklung von Minimum Viable Products unter Verwendung von Referenzen in die Mechatroniksystementwicklung zu konzipieren, um beim Validieren des initialen Zielsystems den frühen und kontinuierlichen Erkenntnisgewinn hinsichtlich Marktunsicherheiten zu fördern? (vgl. Kapitel 5.4)

Zur Unterstützung der Produktentwickelnden beim Umgang mit Marktunsicherheiten im Rahmen der initialen Zielsystementwicklung wurden vier Methoden abgeleitet (vgl. Abbildung 5.1). Dabei adressiert jede dieser Methoden eine der Aktivitäten der initialen Zielsystementwicklung.

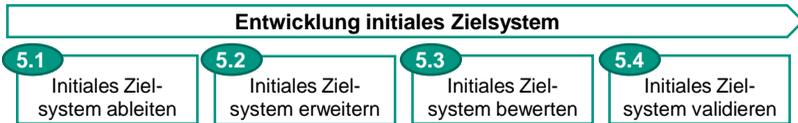


Abbildung 5.1: Darstellung der vier konsekutiven Methoden zur Entwicklung des initialen Zielsystems und Struktur des Kapitels 5

Wie in Abschnitt 2.1.2.5 beschrieben, ist das Zielsystem ein dynamisches System, das entlang des gesamten Produktentstehungsprozesses angepasst wird. So können neue Ziele hinzukommen, sich Ziele ändern oder wegfallen. Folglich kann es von Relevanz sein, die nachfolgend dargestellten Methoden zur Unterstützung der Zielsystementwicklung mehrfach in einem Entwicklungsprozess durchzuführen, da eine Veränderung des Zielsystems wiederum die Rahmenbedingungen der Produktentwicklung auch in Bezug auf die vorliegende Marktunsicherheit beeinflusst. Dabei gilt es zu beachten, dass Zielsystemänderungen auch durch externe Veränderungen, wie beispielsweise neue gesetzliche Vorschriften, Aktivitäten von Wettbewerbern oder ähnliches hervorgerufen werden können. So gilt es zu berücksichtigen, dass

es, insbesondere bei Produktentwicklungsprojekten mit langer Entwicklungsdauer essenziell für den Erfolg des zu entwickelnden Produkts am Markt sein kann, Anpassungen am Zielsystem vorzunehmen. Folglich sind die Methoden sowohl entsprechend der nachfolgend postulierten Reihenfolge aufeinander aufbauend als auch unabhängig voneinander durchführbar und können demnach jederzeit situations- und bedarfsgerecht in die Zielsystementwicklung integriert werden.

5.1 Initiales Zielsystem ableiten⁸⁸

Die Entwicklung einer neuen Produktgeneration findet entsprechend dem Modell der PGE – Produktgenerationsentwicklung nicht auf dem weißen Blatt statt, sondern baut auf Referenzen auf. Diese Referenzen und das damit verbundene Wissen bilden den Ausgangspunkt der Entwicklung einer neuen Produktgeneration, wobei diese durch die systematische Variation der Referenzen synthetisiert wird (vgl. Abschnitt 2.2.1). Durch das Aufsetzen auf Bestehendem gelingt es, Unsicherheiten gezielt zu minimieren. Allerdings bestehen Unsicherheiten hinsichtlich der richtigen Auswahl der Referenzen. Die Auswahl der aus Kunden- und Anwendersicht richtigen Referenzsystemelemente ist jedoch für den späteren Erfolg einer Produktgeneration am Markt notwendig.

Das *Kano-Modell* (vgl. Abschnitt 2.2.2.3) stellt einen Ansatz dar, mit dem Produkteigenschaften einer bestehenden Produktgeneration systematisch hinsichtlich der erzielten Kunden- und Anwenderzufriedenheit analysiert und darauf aufbauend Eigenschaften ausgewählt werden können, die variiert werden sollen, um diese Zufriedenheit zu verbessern.

Nachfolgend wird analysiert, wie Produktentwickelnde bei der Planung neuer Produktgenerationen unterstützt werden können. Im Fokus der Betrachtung steht, gezielt Produkteigenschaften auszuwählen, die es für die in der Entwicklung befindliche Produktgenerationen zu variieren gilt. Die Grundlage dessen bildet eine Analyse der bestehenden, im Markt bereits verfügbaren Produktgeneration G_{n-1} als Element von R_n , wobei prinzipiell jedes andere Element von R_n verwendet werden kann. Die Analyse der Kunden- und Anwenderbedarfe nimmt dabei eine entscheidende Rolle ein, um vorliegende Unsicherheiten zu minimieren. Auf diese Weise werden die Produktentwickelnden hinsichtlich der Fragestellung *Was soll variiert werden* unterstützt. Darauf aufbauend werden weitere Referenzsystemelemente ausgewählt, die eine Realisierung der Produkteigenschaft darstellen. Somit wird erarbeitet, *Wie* die

⁸⁸ Die in Abschnitt 5.1 dargestellten Ergebnisse sind teilweise in der Publikation (Albers, Zimmermann, Marthaler et al., 2021) veröffentlicht worden.

Produkteigenschaft realisiert werden soll, um die Kunden- und Anwenderzufriedenheit zu optimieren. Zielsetzung bei der Auswahl der Referenzsystemelemente ist es, das im Produktprofil beschriebene Nutzenbündel zu beschreiben. Dazu wird die folgende Forschungsfrage beantwortet:

2.1 Wie ist eine Methode zu gestalten, um beim Ableiten des initialen Zielsystems bei der Auswahl von Referenzsystemelementen im Modell der PGE auf Basis des Kano-Modells zu unterstützen, um Marktunsicherheiten zu reduzieren?

5.1.1 Methode zur Auswahl von Referenzsystemelementen im Modell der PGE – Produktgenerationsentwicklung

Um Marktunsicherheiten bei der Auswahl von Referenzsystemelementen zu reduzieren, also die aus Kunden- und Anwendersicht richtigen Referenzsystemelemente auszuwählen, wird nachfolgend eine Methode vorgestellt, die auf vier aufeinander aufbauenden Schritten aufbaut (vgl. Abbildung 5.2).



Abbildung 5.2: Prozess zur Auswahl von Referenzsystemelementen (Albers, Zimmermann et al., 2021, S. 2616)

In ihrem Kern baut die Methode auf dem Verständnis des Modells der PGE – Produktgenerationsentwicklung (vgl. Abschnitt 2.2.1), dem Kano-Modell (vgl. Abschnitt 2.2.2.3) und dem Problemverständnis nach DÖRNER (vgl. Abschnitt 2.1.2.5) auf. Die verschiedenen Zustände des Problemverständnisses nach DÖRNER (1976) beziehen sich im Kontext der vorgestellten Methode auf die verschiedenen Zustände der Kunden- und Anwenderzufriedenheit der betrachteten Produktgenerationen. Der IST-Zustand beläuft sich folglich auf die Kunden- und Anwenderzufriedenheit der Produktgeneration G_{n-1} und der SOLL-Zustand auf die geplante Zufriedenheit, die durch die Produktgeneration G_n erzielt werden soll.

Im **ersten Schritt der Methode** (vgl. Abbildung 5.2), der sogenannten **IST-Analyse** wird der IST-Zustand der Kunden- und Anwenderzufriedenheit erfasst. Zu diesem Zweck wird die bereits im Markt verfügbare und somit bei Kunden und Anwendern

bekannte Produktgeneration G_{n-1} , bewertet, wobei dies ebenfalls mit anderen Elementen von R_n möglich ist. Dazu wird die Produktgeneration G_{n-1} , bzw. das ausgewählte Referenzsystemelement entsprechend ihren relevanten kundenerlebbaren Produkteigenschaften (Albers, Heitger et al., 2018) analysiert und beschrieben. Diese werden im Nachgang demgemäß verbalisiert. Die identifizierten Produkteigenschaften werden im Anschluss Kunden und Anwendern zur fragebogenbasierten Bewertung der Produktgeneration G_{n-1} zur Verfügung gestellt.

Die Bewertung der Produkteigenschaften erfolgt mithilfe einer Skala, die sich an dem in Abschnitt 2.2.2.3 beschriebenen Kano-Modell orientiert. Diesbezüglich wurden die im Modell hinterlegten Kurven in Abschnitte unterteilt und entsprechend textuell beschrieben. Die Aufteilung ist in Abbildung 5.3 dargestellt.

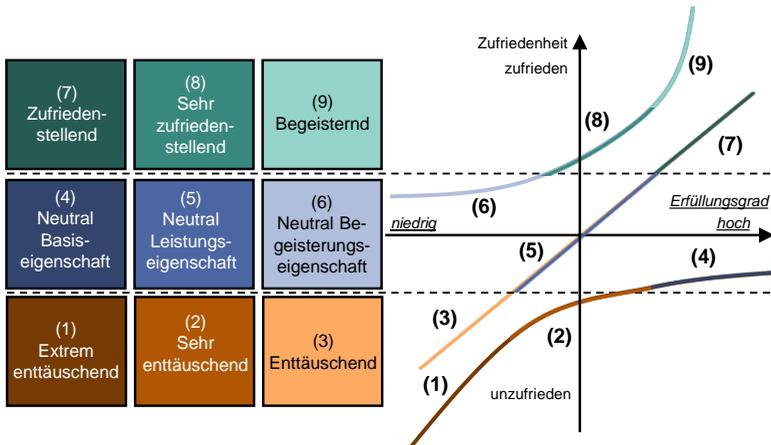


Abbildung 5.3: Unterteilung der Kurven des Kano-Modells in Sektoren und Benennung dieser, um Produkteigenschaften einer Bewertung durch Kunden und Anwender zugänglich zu machen (Albers, Zimmermann et al., 2021, S. 2616)

Die Beschreibung der Abschnitte können Tabelle 5.1 entnommen werden. Die Beschreibungen der Antwortmöglichkeiten bauen primär auf die beiden Dimensionen **Zufriedenheit**, die durch die entsprechende Produkteigenschaft ausgelöst wird, und **Erwartungshaltung** hinsichtlich dieser Produkteigenschaft auf. Diese wird beispielsweise durch Erfahrungen oder Kontakt zu Wettbewerbsprodukten beeinflusst.

Tabelle 5.1: Textuelle Beschreibung der Kurvensektoren, die die Antwortmöglichkeiten bei der Bewertung der ausgewählten kundenerlebbarer Produkteigenschaften durch Kunden und Anwender darstellen

1) Extrem enttäuschend	Ich hätte zwingend vorausgesetzt, dass das deutlich besser ist. Ich bin sehr unzufrieden.
2) Sehr enttäuschend	Ich hätte zwingend vorausgesetzt, dass das besser ist. Ich bin unzufrieden.
3) Enttäuschend	Ich hätte erwartet, dass das besser ist. Ich bin unzufrieden.
4) Neutral Basis-eigenschaft	Das habe ich genauso zwingend vorausgesetzt. Wäre dies nicht so, wäre ich sehr unzufrieden.
5) Neutral Leistungseigenschaft	Meine Erwartung wurde genau erfüllt. Dies beeinflusst meine Zufriedenheit nicht.
6) Neutral Begeisterungseigenschaft	Das hätte ich nicht erwartet. Wäre es besser, würde es mich sehr zufrieden machen. Aktuell empfinde ich es eher neutral.
7) Zufriedenstellend	Das übertrifft meine Erwartungen, ich bin zufrieden.
8) Sehr zufriedenstellend	Das hätte ich nicht erwartet. Das macht mich sehr zufrieden.
9) Begeisternd	Das begeistert mich. Ich hätte nicht erwartet, dass es so etwas gibt.

Durch Auswertung der Befragung werden im Nachgang Potentiale hinsichtlich der Zufriedenheit von Kunde und Anwender abgeleitet, die durch systematische Variation in der Produktgeneration G_n erzielt werden können. Zur Unterstützung der Identifikation von Potentialen kann der IST-Stand der Zufriedenheit bezüglich der Produktgeneration G_{n-1} quantitativ abgebildet werden. Dabei wird die prozentuale Verteilung der Rückmeldung zu den einzelnen Kurvenabschnitten einer Produkteigenschaft abgebildet. Wie in Abschnitt 2.2.2.3 dargelegt, ist jedoch von entscheidender Bedeutung zu berücksichtigen, dass die Rückmeldungen von Kunden und Anwendern spezifisch für die entsprechende Zielgruppe sein können. So haben Anwender prinzipiell eine andere Sichtweise auf ein Produkt – dies ist meist ein stärkerer Fokus auf Produkteigenschaften, die in der Nutzung auftreten – als Kunden, die meist eine eher ökonomische Sicht einnehmen. Derartige Differenzen können beispielsweise auch aus regionalen, finanziellen Begebenheiten oder sonstigen Unterschieden der Zielgruppe resultieren. Dementsprechend ist es bei der Erstellung derartiger Abbildungen von Relevanz festzulegen, welche Zielgruppe analysiert werden soll, inwiefern die Unterschiede verschiedener Zielgruppen berücksichtigt werden sollen, aber auch hinsichtlich welcher Zielgruppe schließlich das Produkt ausgerichtet werden soll.

Um die Methodenanwender bei der Interpretation der Umfrageergebnisse zu unterstützen, wird nachfolgend eine Form der grafischen Darstellung der Ergebnisse dargestellt. Diese basiert auf den Grundlagen des Kano-Modells. So besteht hinsichtlich Basis-eigenschaften die größte Erwartungshaltung. Sind diese nicht ausreichend erfüllt, resultiert eine große Unzufriedenheit. Im Kontext von Begeisterungseigenschaften herrscht hingegen eine geringe Erwartungshaltung, sodass diese bei Erfüllung in großer Zufriedenheit resultieren. Zur Auswertung wird nun auf Basis der Kunden- und Anwenderbefragung ein Durchschnittswert der Erwartungshaltung und der Zufriedenheit ermittelt, wobei dieser ausgehend von einem neutralen Wert ermittelt wird (vgl. Abbildung 5.4).

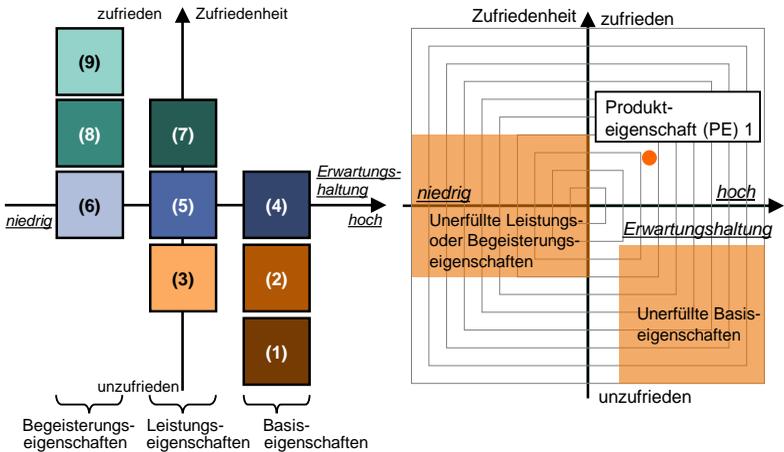


Abbildung 5.4: Links: Aufteilung der Kurvenspektren aus Abbildung 5.3 entsprechend den beiden Dimensionen Erwartungshaltung und Zufriedenheit; rechts: Möglichkeit der grafischen Darstellung der zugehörigen Funktionswerte einer Produkteigenschaft hinsichtlich dieser beiden Dimensionen

Fallen bei der Bewertung einer Produkteigenschaft nun Stimmen auf die Kurvenabschnitte ((1), (2) & (4)), ist die Erwartungshaltung gegenüber dieser Produkteigenschaft wohl höher. Von einer eher kleineren Erwartungshaltung kann ausgegangen werden, wenn die Bewertungen auf die Kurvenabschnitte (6), (8) & (9) fallen. Der Funktionswert für die Erwartungshaltung $f(EWH)$ mit der nachstehenden Formel bestimmt werden.

$$f(EWH) = \left((f(1) + f(2) + f(4)) - (f(6) + f(8) + f(9)) \right) * 100 \quad 1$$

f(1) bis f(9) entsprechen dem prozentualen Anteil der Rückmeldung auf den Kurven-sektor. Der Funktionswert für die Zufriedenheit f(ZF) wird äquivalent berechnet:

$$f(ZF) = \left(\left(f(9) + \frac{f(8) + f(7)}{2} \right) - \left(f(9) + \frac{f(8) + f(7)}{2} \right) \right) * 100 \quad 2$$

Die Abbildung der beiden ermittelten Funktionswerte (vgl. Abbildung 5.4, rechts) erlaubt dem Methodenanwender Rückschlüsse hinsichtlich der Auswahl von zu differenzierenden Produkteigenschaften im Verhältnis der analysierten Produktgeneration G_{n-1} . So sollten beispielsweise Eigenschaften mit hoher Erwartungshaltung und gleichzeitig hoher Unzufriedenheit (vierter Quadrant), die wahrscheinlich nicht erfüllte Basiseigenschaften sind, zwingend variiert werden. Als weiteres Potential sind unzureichend erfüllte Leistungs- und Begeisterungseigenschaften zu nennen. Diese liegen vorrangig in unmittelbarer Nähe zur x-Achse in den beiden Quadranten zwei und drei. Durch die Erfüllung dieser in einer nachgelagerten Produktgeneration kann die Kunden- und Anwenderzufriedenheit gesteigert werden.

Im **zweiten Schritt der Methode – Identifikation von Referenzsystemelementen** – (vgl. Abbildung 5.2), werden Referenzsystemelemente für die ausgewählten Differenzierungseigenschaften identifiziert. Diese Referenzsystemelemente stellen aus Kunden- und Anwendersicht potentielle Möglichkeiten zur Realisierung der ausgewählten zu differenzierenden Produkteigenschaften dar. Die Referenzsystemelemente können dabei bereits im Unternehmen verfügbar sein, von Wettbewerbern stammen oder branchenfremd (vgl. Abschnitt 2.2.1) sein. Zur Unterstützung dieses Schrittes können Kreativitätsmethoden, wie beispielsweise die TRIZ-Methode, oder analysierende Methoden, beispielsweise Reverse-Engineering von Wettbewerbsprodukten, eingesetzt werden.

Nach der Identifikation der Referenzsystemelemente werden diese im **dritten Schritt der Methode – der PLAN-Analyse** – (vgl. Abbildung 5.2) durch eine Kunden- und Anwenderbefragung bewertet. Dabei wird evaluiert, welche Auswirkung die Variation einer Eigenschaft dem betrachteten Referenzsystemelement entsprechend auf die Zufriedenheit hat, die Kunden und Anwender im Kontext der Produktgeneration G_n verspüren. Dazu müssen das Zielsystem und insbesondere das Nutzbündel des Referenzsystemelements wieder aufgegriffen (intern verfügbares Referenzsystemelement) oder rekonstruiert (nur extern verfügbares Referenzsystemelement)

melement) und im Kontext der zu evaluierenden Produkteigenschaft betrachtet werden. Dieser Schritt gibt Aufschluss darüber, wie der IST-Zustand anzupassen ist, um den gewünschten SOLL-Zustand zu erreichen und wird folglich als PLAN-Analyse bezeichnet. Die Bewertung erfolgt dabei eigenschafts- und referenzsystemelementspezifisch. Wäre beispielsweise bei der Entwicklung der neuen Generation eines Prüfgeräts zum Testen von Brandmeldern im Feld die Steuerung ebendieses die betrachtete Eigenschaft, die bislang per Knopfdruck realisiert wird, so könnte Sprachsteuerung – beispielsweise eines Automobils – ein potentielles Referenzsystemelement darstellen. Eine potentielle Rekonstruktion des Anwendernutzens als Teil des Zielsystems könnte beispielsweise die Unterstützung von Eingaben bzw. die Steuerung des Navigationsgeräts bei der Fahrt darstellen. Die befragten Kunden und Anwender würden nun die zu entwickelnde Produktgeneration G_n hinsichtlich der Eigenschaft Steuerung des Prüfgeräts im Sinne der Realisierung Sprachsteuerung bewerten. Folglich wird lediglich die Variation der Produkteigenschaft Steuerung im Verhältnis zum Referenzsystemelement Produktgeneration G_{n-1} bewertet.

Auch in diesem Kontext kommt das in Abbildung 5.3 beschriebene Framework zur Unterteilung der Kurven des Kano-Modells in einzelne Abschnitte zum Einsatz. Exemplarisch ist in Abbildung 5.5 die Zuordnung von Referenzsystemelementen zu den Kurvensektoren dargestellt.

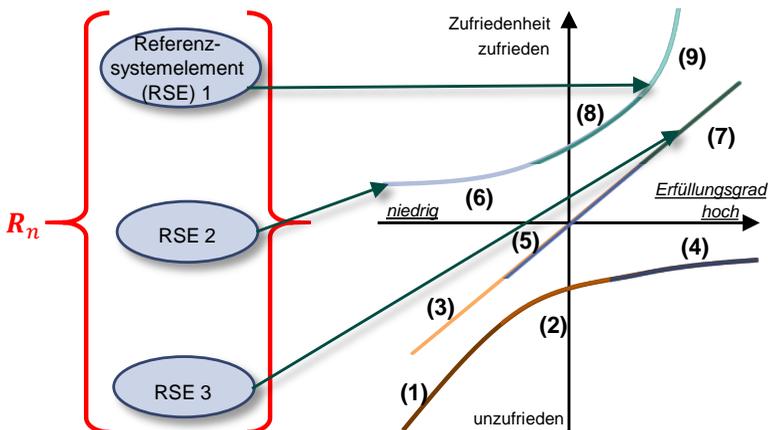


Abbildung 5.5: Referenzsystem mit zugehörigen Elementen für eine Produkteigenschaft; Pfeile deuten Zuordnung durch Kunden- und Anwenderbefragung an (Albers, Zimmermann et al., 2021, S. 2617)

Im Rahmen der Evaluationsstudien dieser Arbeit hat sich ein Workshop mit Kunden und Anwendern, in dem die verschiedenen Referenzsystemelemente bewertet werden, als besonders geeignet herausgestellt, da in einem derartigen Format die Integration der Referenzsystemelemente in die bestehende Produktgeneration G_{n-1} zur Erzeugung der künftigen Produktgeneration G_n den Probanden beispielsweise durch Bilder und Videos besser als in einem Fragebogen dargelegt werden kann.

Im **letzten Schritt der Methode – Auswahl der Eigenschaftsausprägungen** – (vgl. Abbildung 5.2) werden nun Referenzsystemelemente ausgewählt, um die vorab im SOLL-Zustand definierte Kunden- und Anwenderzufriedenheit zu erzielen. Dabei gilt, dass, wie KANO (2001) beschreibt, ein Produkt nicht nur aus Begeisterungseigenschaften bestehen kann und dass auch nicht jede Eigenschaft, unabhängig ob Basis-, Leistungs- oder Begeisterungseigenschaft, die bestmögliche Eigenschaftsausprägung aufweisen kann. Ferner ist bei diesem Schritt zu beachten, dass die Kunden- und Anwenderzufriedenheit lediglich einen Indikator für die Auswahl der Referenzsystemelemente darstellt. Es gilt auch, den Ursprung der Referenzsystemelemente zu berücksichtigen. So steigt das Risiko des Entwicklungsvorhabens mit zunehmender Entfernung des Referenzsystemelements vom eigenen Unternehmen (Rapp, 2021). Dementsprechend ist beim Ableiten des initialen Zielsystems ist zu berücksichtigen, dass Referenzsystemelemente nicht ausschließlich hinsichtlich einer Steigerung der Kunden- und Anwenderzufriedenheit auszuwählen sind, sondern explizit der Anbieternutzen berücksichtigt werden muss. Neben Produktentwickelnden gilt es auch Fachfunktionen wie Marketing oder Vertrieb bei der Auswahl geeigneter Referenzsystemelemente zu involvieren, da einerseits die Platzierung der Produkte im Markt – beispielsweise High-Class oder Low-Cost Produkt – von Relevanz für die Auswahl ist und andererseits in diesen Fachbereichen Wissen bzgl. der Produkte, deren Anwendung etc. vorherrscht.

5.1.2 Zwischenfazit

Die Auswahl der aus Kunden- und Anwendersicht richtigen Referenzsystemelemente ist von entscheidender Bedeutung für den späteren Erfolg einer Produktgeneration am Markt. Allerdings ist die Auswahl dieser Referenzsystemelemente genau wie die Identifikation von zu differenzierenden Produkteigenschaften mit Marktunsicherheiten behaftet. Im Rahmen der vorgestellten Methode wird diesbezüglich eine Analyse der Kunden- und Anwenderzufriedenheit hinsichtlich relevanter erlebbarer Produkteigenschaften unter Einbezug von bestehenden Referenzsystemelementen wie beispielsweise der Produktgeneration G_{n-1} und unter zu Hilfenahme des Kano-Modells durchgeführt. Durch diese Analyse gelingt es, das mit den Referenzsystemelementen verbundene Wissen hinsichtlich der Kunden-

und Anwenderzufriedenheit für den Produktentwickelnden beim Ableiten des initialen Zielsystems zugänglich zu machen und damit systematisch Marktunsicherheiten abzubauen. Entsprechend den auf Basis dieser Analyse ausgewählten zu differenzierenden Produkteigenschaften werden weitere Referenzsystemelemente identifiziert, die die Realisierung dieser Produkteigenschaften aus Kunden- und Anwendersicht beschreiben. Durch eine Rekonstruktion des zugehörigen Zielsystems werden ebendiese dann in Bezug auf die zu betrachtende Produkteigenschaft mithilfe des Kano-Modells hinsichtlich der entsprechenden Kunden- und Anwenderzufriedenheit bewertet. Damit gelingt es, Produktentwickelnde bei der Auswahl der aus Kunden- und Anwendersicht geeigneten Referenzsystemelemente zu unterstützen und dergestalt Marktunsicherheiten zu reduzieren.

Zu berücksichtigen ist, dass die Methode lediglich den Kunden- und Anwendernutzen direkt adressiert, wohingegen der Anbieternutzen lediglich implizit beachtet wird. In diesem Kontext sind insbesondere die zur Abbildung des Referenzsystemelements auf die zu entwickelnden Produktgeneration notwendige Variationsart – Prinzipvariation birgt mehr Entwicklungsrisiken als Gestaltvariation – und die Herkunft des Referenzsystemelements einzubeziehen, da diese zwar die Chance zur Generierung von der Begeisterungsmerkmalen erhöhen, gleichwohl jedoch Risiken mit sich bringen.

5.2 Initiales Zielsystem erweitern⁸⁹

Nach MCMANUS und HASTINGS (2006) umfassen Unsicherheiten neben Wissenslücken, die einen Mangel an notwendigem Wissen darstellen, ebenfalls Definitionslücken (siehe Abschnitt 2.3). Dabei stellen Definitionslücken ausstehende Entscheidungen oder fehlende Spezifizierungen dar. In der *Deskriptiven Studie 1* (siehe Kapitel 4) wurde festgestellt, dass diesbezüglich insbesondere die Gewährleistung eines angemessenen Maßes an Vollständigkeit im Rahmen der Zielsystementwicklung eine zentrale Herausforderung begründet. Die Vollständigkeit bezieht sich dabei einerseits auf die Summe der Zielsystemelemente und dementsprechend, ob das Produkt aus Kunden- und Anwendersicht ausreichend beschrieben ist und andererseits auf die Zielsystemelemente selbst. Dabei ist zu gewährleisten, dass den Zielsystemelementen keine zentralen Informationen oder Angaben fehlen.

Demzufolge ist bei der Konkretisierung des initialen Zielsystems neben der Identifikation der aus Kunden- und Anwendersicht richtigen Zielsystemelemente und damit

⁸⁹ Die in Abschnitt 5.2 dargestellten Ergebnisse sind teilweise in der Publikation (Zimmermann, Kempf, Hartmann et al., 2021) veröffentlicht worden.

der Reduktion von Wissenslücken die Gewährleistung eines angemessenen Maßes an Vollständigkeit wichtig, um Definitionslücken zu schließen. Die systematische Integration von Kunden und Anwendern stellt hierzu einen zentralen Baustein dar. In der Literatur werden diesbezüglich Ansätze zur Integration der Kunden- und Anwenderbedürfnisse in die Erhebung von Zielen und Anforderungen diskutiert, um systematisch Wissenslücken zu reduzieren (vgl. Abschnitt 2.3.1). Darüber hinaus bestehen Ansätze, wie beispielsweise die der modellbasierten Produktentwicklung, die durch das Strukturieren von Wissen Definitionslücken sichtbar machen.

Zielsetzung der methodischen Unterstützung zur Erweiterung und Konkretisierung des initialen Zielsystems ist die Kombination verschiedener methodischer Elemente und Förderung der Integration von Kunden und Anwendern in die Erhebung von Zielsystemelementen, um ausreichend, aus Kunden- und Anwendersicht richtige Zielsystemelemente zu erheben und damit Marktunsicherheiten zu reduzieren. Diese Marktunsicherheit besteht in erster Linie in Form von Definitionslücken (fehlende Zielsystemelemente und unzureichende Vollständigkeit des Zielsystems) und Wissenslücken (aus Kunden- und Anwendersicht falsche Zielsystemelemente). Dazu wird die folgende Forschungsfrage beantwortet:

2.2 Wie ist eine Methode zur Integration von Kunden und Anwendern beim Erweitern des initialen Zielsystems zu gestalten, mit dem Ziel Definitionslücken zu schließen und damit Marktunsicherheiten zu reduzieren?

5.2.1 Methode zur Integration von Kunden und Anwendern in die Erweiterung und Konkretisierung von Zielsystemen

Um das zuvor abgeleitete initiale Zielsystem systematisch zu erweitern, zu konkretisieren und dabei Marktunsicherheiten, die in Form von Wissens- und Definitionslücken vorliegen, zu reduzieren, müssen gezielt Zielsystemelemente – Ziele und Anforderungen – identifiziert werden, die die Bedürfnisse der Kunden und Anwender widerspiegeln. Von entscheidender Bedeutung ist es, die aus Kunden- und Anwendersicht richtigen Ziele und Anforderungen zu identifizieren. Diesbezüglich wird im Rahmen dieser Methode ein interdisziplinärer Workshop durchgeführt, an dem neben Produktentwickelnden und Vertriebsmitarbeitenden insbesondere Kunden und Anwender teilnehmen. Dabei benötigen die Workshopteilnehmenden keine speziellen Kenntnisse des Anforderungsmanagements. Vielmehr werden sie durch die Methode bzw. die zugehörigen Elemente zur Mitarbeit befähigt. Demnach ist es vielmehr von Relevanz, dass die Teilnehmenden das zu entwickelnde Produkt, dessen Anwendung und dessen Kunden und Anwender und deren Bedürfnisse kennen. Zielsetzung des Workshops ist es, das zu entwickelnde Produkt möglichst umfassend durch Ziele und Anforderungen zu beschreiben.

Die Grundlage der entsprechenden Methode bildet ein Portfolio, dessen Aufbau sich grundlegend an der Struktur von Use-Case-Diagrammen der Systems Modeling Language (siehe Abschnitt 2.2.2.2) orientiert. In dem Portfolio, das schematisch in der nachstehenden Abbildung 5.6 dargestellt ist, werden auf der horizontalen Achse sämtliche relevanten Use-Cases und bei Bedarf die zugehörigen Produktlebenszyklusphasen abgebildet. Auf der vertikalen Achse werden die Stakeholder Kunden und Anwender abgebildet. Im Rahmen der Methodenanwendung werden nun für die verschiedenen Portfoliofelder, die eindeutig durch die relevanten Stakeholder und zugehörigen Use-Cases beschrieben werden, systematisch Zielsystemelemente definiert. Zudem unterstützt das Portfolio bei der Identifikation von Definitionslücken in Form von aus Kunden- und Anwendersicht fehlenden Zielsystemelementen, die durch unzureichend beschriebene Felder des Portfolios sichtbar werden.

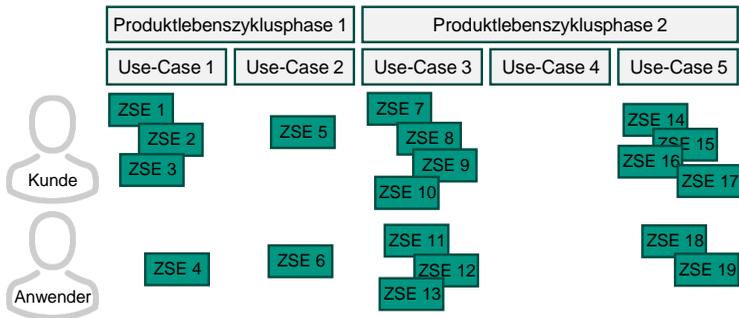


Abbildung 5.6: Portfolio zur Visualisierung der Zielsystemkonkretisierung im Rahmen eines Workshops unterstützt bei der Identifikation potentieller Definitionslücken - fehlende ZSE-Zielsystemelemente, beispielsweise für Use-Case 4 (Zimmermann, Kempf, Hartmann et al., 2021, S. 29)

Im Vorfeld der Methodenanwendung wird das Zielsystem von zuvor identifizierten Referenzsystemelementen wie beispielsweise der Vorgängergeneration G_{n-1} aufgegriffen, wodurch Use-Cases, die dann in das Portfolio einfließen, als Bestandteil des Zielsystems abgeleitet werden können. Demnach kann das in den Referenzsystemelementen enthaltene Wissen zur Reduktion von Unsicherheiten genutzt werden. Des Weiteren werden im Vorfeld der Methodenanwendung die relevanten Stakeholder – Kunden und Anwender – spezifiziert, da in der Regel die generische Form Kunde bzw. Anwender nicht zutreffend ist. Diesbezüglich können auf Basis der zu-

vor ausgewählten Referenzsystemelemente (vgl. Abschnitt 5.1) respektive auf Basis der rekonstruierten zugehörigen Zielsysteme Personas (u.a. Nielsen, 2018; Pruitt & Grudin, 2003) erstellt werden. Die zentralen Charaktereigenschaften der Personas und ihre Anforderungen an das zu entwickelnde Produkt greifen die Inhalte der (rekonstruierten) Zielsysteme der ausgewählten Referenzsystemelemente auf. Für das zuvor eingeführte Beispiel der Entwicklung der neuen Generation eines Prüfgeräts zum Testen von Brandmeldern im Feld und dem Referenzsystemelement Sprachsteuerung im Auto bedeutet dies, dass eine Persona beispielsweise die Anforderung an das Produkt stellen könnte, dass die Steuerung unterstützt werden soll. Wichtig ist, das rekonstruierte Ziel des Referenzsystemelementes auf die zu entwickelnde Produktgeneration zu adaptieren, wobei die Relevanz dessen mit zunehmender Entfernung des Referenzsystemelementes zu der zu entwickelnden Produktgeneration steigt. Dies kann beispielsweise durch das Aufgreifen eines Use-Cases in das Ziel erfolgen. Im Kontext des Beispiels Sprachsteuerung im Automobil – mit dem Ziel die Eingabe und Steuerung des Navigationsgeräts beim Fahren sicherer zu gestalten – könnte das Ziel der Persona für die zu entwickelnde Produktgeneration des Prüfgeräts darin bestehen, das parallele Auslösen des Prüfgeräts und die automatisierte Dokumentation der dabei entstehenden Daten zu unterstützen.

Während der Methodendurchführung selbst wird ein mehrstufiger Brainwritingpool (u.a. Heslin, 2009) durchgeführt, wobei in jeder Runde neue Impulse (z.B. zusätzliche Personas oder Use-Cases) gesetzt werden. Dabei ist es sinnvoll, diese im Vorfeld des Workshops beispielsweise in Videos aufzubereiten, um den Workshopteilnehmenden die notwendigen Informationen bedarfsgerecht zu übermitteln. Im Rahmen eines Brainwritingpools wechseln sich Einzel- und Teamarbeit kontinuierlich ab, sodass ausreichend Freiraum für eigene Ideen jedes Teilnehmenden besteht, gleichzeitig jedoch Impulse durch die gegenseitige Vorstellung der Zielsystemelemente gesetzt werden. Die Zielsystemelemente werden in Satzschablonen formuliert, die in Anlehnung an User-Stories (vgl. Abschnitt 2.2.2.1) aufgebaut sind.

Die entsprechende Satzschablone besteht aus sechs Feldern (vgl. Abbildung 5.7). Das Feld **ID**, das durch eine fortlaufende Nummer zu befüllen ist, dient der Rückverfolgbarkeit der Anforderungen im weiteren Projektverlauf. In dem Feld **Titel/Kurzbezeichnung** ist das nachfolgend beschriebene Zielsystemelement kompakt zusammenzufassen. Das eigentliche Ziel oder die Anforderung wird durch die vier Felder **Akteur**, **Anforderung**, **Use-Case** und **Nutzen** beschrieben. Dabei dienen die Felder **Akteur** und **Use-Case** der Einordnung in das in Abbildung 5.6 dargestellte Portfolio. In **Anforderung** wird die Anforderung bzw. das Ziel beschrieben, das das Produkt erfüllen soll. Das Feld **Nutzen** stellt eine Verbindung zu dem im Produktprofil beschriebenen Nutzenbündel dar. Auf diese Weise kann sichergestellt werden, dass eine Verbindung zwischen dem definierten Zielsystemelement und

dem Nutzenbündel besteht und der Nutzen auch expliziert wird. Dies ist auch in Hinblick auf die notwendige Validierung von Relevanz, da das Explizieren des Nutzenbündels eine zentrale Bedeutung hinsichtlich des Zugangs zur Validierung des Zielsystemelements darstellt (Albers, Heimicke, Walter et al., 2018). Darüber hinaus kann durch die einheitliche Formulierung der Zielsystemelemente in Satzschablonen gewährleistet werden, dass sämtliche notwendigen Informationen wie beispielsweise die Begründung des Zielsystems – der Nutzen – vorhanden und einheitlich dokumentiert sind und stellt damit einen weiteren Stellhebel zum Umgang mit Marktunsicherheiten dar.

Titel / Kurzbezeichnung	ID
Ich als relevanter Akteur	
möchte, dass das Produkt die Anforderung erfüllt,	
damit ich bei Use-Case	
den folgenden Nutzen habe.	

Abbildung 5.7: Visualisierung der Satzschablone in Form einer Story-Card, wobei die grün geschriebenen Worte zu ersetzen sind (Zimmermann, Kempf, Hartmann et al., 2021, S. 29)

5.2.2 Zwischenfazit

Im Rahmen der Erweiterung und Konkretisierung des initialen Zielsystems ist neben der Identifikation der aus Kunden- und Anwendersicht richtigen Zielsystemelemente, um Marktunsicherheiten vorliegend in Form von Wissenslücken zu reduzieren, ein geeignetes Maß an Vollständigkeit zu gewährleisten. Dieses bezieht sich sowohl auf die Summe der erhobenen Zielsystemelemente, als auch auf die Vollständigkeit der Zielsystemelemente selbst und adressiert dadurch die Reduktion von Definitionslücken. Im Rahmen der vorgestellten Methode werden Kunden und Anwender direkt in den Prozess der Erhebung von Zielen und Anforderungen integriert, sodass deren Sichtweise unmittelbar berücksichtigt wird. Somit können Marktunsicherheiten in Form von Wissenslücken in einem gewissen Maß direkt verhindert werden. Durch ein Portfolio, das den Zusammenhang zwischen Zielsystem-

elementen, Stakeholdern und Use-Cases darlegt, können aus Kunden- und Anwendersicht fehlende Zielsystemelemente und damit Definitionslücken identifiziert werden. Dieses Portfolio wird durch die Analyse von Referenzsystemelementen generiert, wodurch das Wissen explizit genutzt wird, um Marktunsicherheiten in Form von Wissenslücken zu reduzieren. Durch die Verwendung einer definierten Satzschablone zur Formulierung der Zielsystemelemente kann gewährleistet werden, dass sämtliche Ziele und Anforderungen sämtliche notwendigen Informationen wie beispielsweise den zugehörigen Nutzen beinhalten. Dementsprechend stellt die Verwendung dieser Satzschablone einen weiteren Stellhebel zur Reduktion von Marktunsicherheiten in Form von Definitionslücken dar.

Zu berücksichtigen ist jedoch, dass im Rahmen der Methodendurchführung eher die Quantität der Zielsystemelemente berücksichtigt wird, wohingegen die Qualität dieser lediglich durch die Satzschablone adressiert wird. Insbesondere die Validität der Zielsystemelemente, die lediglich über die direkte Formulierung ebendieser durch Kunden und Anwender adressiert wird, wird im Rahmen der Methode nicht weiter geprüft. Damit besteht die Möglichkeit, dass durch die Formulierung der Zielsystemelemente weitere Marktunsicherheiten generiert werden, so können durch Kunden oder Anwender beispielsweise Zielsystemelemente synthetisiert werden, die ausschließlich für ihre Zielgruppe von Relevanz sind oder in direktem Widerspruch zu der Produktstrategie stehen. Folglich müssen durch die nachgelagerte Anwendung von Methoden derartige Marktunsicherheiten identifiziert und reduziert werden.

5.3 Initiales Zielsystem bewerten⁹⁰

Bei der Entwicklung mechatronischer Systeme sind per Definition sämtliche Ziele, Anforderungen und Randbedingungen mit Unsicherheiten behaftet (Ebert & Man, 2005), die das Produkt, dessen Entwicklung und den Erfolg des Produkts am Markt beeinflussen können (Weck et al., 2007). Im Rahmen der *Deskriptiven Studie 1* (vgl. Kapitel 4) konnte gezeigt werden, dass das Bewusstsein der Produktentwickelnden für die vorliegenden Marktunsicherheiten, mit denen Zielsystemelemente behaftet sind, lediglich bedingt hinsichtlich deren Präsenz und Bedeutung für die Produktentwicklung sensibilisiert ist. Folglich finden Aktivitäten zum Umgang mit Marktunsicherheiten wie beispielsweise die Validierung nur bedingt Anwendung. Ziel der nachfolgend dargestellten Methode ist es, systematisch Marktunsicherheiten inner-

⁹⁰ Die in Abschnitt 5.3 dargestellten Ergebnisse sind teilweise in der Publikation (Zimmermann, Prinz et al., 2020) veröffentlicht worden.

halb des Zielsystems zu identifizieren und damit die Validität der Zielsystemelemente zu untersuchen. Darüber hinaus soll im Rahmen ebendieser Methode das Bewusstsein der Entwickelnden hinsichtlich der vorliegenden Marktunsicherheiten sensibilisiert werden, um den Handlungsbedarf der Produktentwickelnden hinsichtlich notwendiger, nachgelagerter Aktivitäten wie beispielsweise der Validierung zu steigern. Da Marktunsicherheit als solche keine objektive Messgröße ist, sondern vielmehr eine handlungssystemspezifische Größe, die von Faktoren wie der Erfahrung, dem verfügbaren Wissen etc. abhängig ist (Wiebel et al., 2013), bedarf es einer Metrik, die Entwickelnden eine handlungssystemspezifische Objektivierung der Marktunsicherheit ermöglicht. Dazu wird die Forschungsfrage beantwortet:

2.3 Wie ist eine Methode zum Bewerten des initialen Zielsystems zu gestalten, um systematisch mit Marktunsicherheiten behaftete Zielsystemelemente zu identifizieren und damit das Bewusstsein der Produktentwickelnden hinsichtlich der vorliegenden Marktunsicherheit zu steigern?

5.3.1 Methode zur systematischen Identifikation von mit Marktunsicherheiten behafteten Zielsystemelementen

Um das Bewusstsein der Produktentwickelnden bezüglich der vorliegenden Marktunsicherheiten zu sensibilisieren und ihnen den notwendigen Handlungsbedarf hinsichtlich Aktivitäten zur Reduktion dieser Marktunsicherheiten wie beispielsweise der Validierung aufzuzeigen, bedarf es einer handlungssystemspezifischen Objektivierung der vorliegenden Marktunsicherheiten und einer damit verbundenen Darstellung. Nach ALBERS, LOHMEYER et al. (2011) ist eine ausschließliche Bewertung der Zielsystemdimension Reifegrad, die ein Indikator der vorliegenden Unsicherheit ist, nicht ausreichend, um Validierungsaktivitäten mit entsprechender Priorisierung ableiten zu können. Vielmehr bedarf es zusätzlich einer Berücksichtigung der Zielsystemdimensionen Härtegrad und Auswirkung. Demnach sind entsprechend der Entwicklungsmatrix Zielsystemelemente mit geringem Reifegrad und hoher Auswirkung vorrangig zu entwickeln bzw. ist der vorliegende Reifegrad zu erhöhen, da solche Zielsystemelemente für den Erfolg der Produktentwicklung besonders kritisch sind. Ferner müssen entsprechend der Definitionsmatrix Zielsystemelemente mit geringem Härtegrad und hoher Auswirkung früh definiert werden, um diese dann validieren und damit die vorliegende Unsicherheit reduzieren zu können. Zielsystemelemente, die mit Marktunsicherheit behaftet sind und damit einen geringen Reifegrad aufweisen, sind demnach vorrangig zu validieren bzw. ist der Reifegrad ebendieser durch die Validierung und damit der Reduktion der vorliegenden Wissenslücken zu steigern. Dies ist insbesondere von Bedeutung, wenn diese Zielsys-

temelemente zusätzlich eine hohe Auswirkung aufweisen. Dabei muss jedoch zusätzlich der Härtegrad als dritte relevante Zielsystemdimension berücksichtigt werden, da diese die Änderbarkeit des Zielsystemelements widerspiegelt.

Folglich gilt es, im Rahmen der Methode Zielsystemelemente hinsichtlich der drei Dimensionen Auswirkung, Reifegrad und Härtegrad zu bewerten, um damit Rückschlüsse hinsichtlich der Notwendigkeit der Validierung ziehen zu können. Somit handelt es sich bei der Methode um eine dreidimensionale Bewertung, wobei die Klassifizierung der Zielsystemelemente im Rahmen der Methodendurchführung durch eine systematische Bewertung erzielt wird. Allerdings sind diese Dimensionen nicht direkt objektiv bewertbar, deswegen wurde im Kontext dieser Methode eine Metrik entwickelt, die nachfolgend vorgestellt wird.

5.3.1.1 Metrik zur Identifikation von Marktunsicherheiten

Im Zuge der Methodendurchführung sind die Zielsystemelemente hinsichtlich der drei Dimensionen zu bewerten. Um eine handlungssystemspezifische Objektivierung der Bewertung zu ermöglichen, wurde im Rahmen der Methodenentwicklung eine Metrik erstellt, mit der die verschiedenen Dimensionen quantitativ bewertbar gemacht werden können. Diese Metrik besteht aus jeweils einem Faktormodell für die verschiedenen Dimensionen, um die Bewertung zu operationalisieren, und einem mathematischen Modell. Diese Modelle werden nachfolgend eingeführt.

Faktormodell Reifegrad

Eine Bewertung der Zielsystemelemente hinsichtlich der Dimension Reifegrad dient der Identifikation der vorliegenden Marktunsicherheiten, da der Reifegrad gerade gegenläufig zur vorliegenden Unsicherheit verläuft. Marktunsicherheiten sind in Bezug auf ihren Ursprung, ihrer Ausprägung und damit auch hinsichtlich ihrer Auswirkung sehr vielfältig (vgl. Abschnitt 2.3). Dies macht es für Produktentwickelnde schwierig, sie zu identifizieren (Cao et al., 2008). Infolgedessen ist eine direkte Bewertung von Zielsystemelementen hinsichtlich der Dimension Reifegrad und damit der vorliegenden Marktunsicherheiten nicht möglich (Albers et al., 2012), insbesondere unter Berücksichtigung der Tatsache, dass das Bewusstsein hinsichtlich dieser oftmals nur bedingt vorhanden ist. Um dieser Vielfältigkeit der Marktunsicherheit zu begegnen, wurden bei der Methodenentwicklung auf Basis der in Abschnitt 2.3.1 dargestellten Literaturanalyse Einflussfaktoren identifiziert.

Um eine Aussage hinsichtlich der vorliegenden Marktunsicherheit zu erhalten, müssten im Rahmen der Methodendurchführung eine Bewertung hinsichtlich sämtlicher identifizierter Faktoren durchgeführt werden. Da im Zuge dieser jedoch sämtliche Zielsystemelemente in Bezug auf die vorliegende Marktunsicherheit bewertet werden sollen, ist dies aufgrund der Vielzahl der Einflussfaktoren mit einem hohen

Aufwand verbunden, weshalb eine Verkürzung der Liste von Einflussfaktoren notwendig ist. Dabei dient einerseits die Relevanz der Einflussfaktoren als ein Kriterium zur Verkürzung dieser Liste und andererseits die Möglichkeit zur objektiven Bewertung der Einflussfaktoren. Zu diesem Zweck werden sämtliche identifizierten Einflussfaktoren mittels Design Structure Matrix (DSM) (u.a. Browning, 2001) bezüglich Relevanz und Wechselwirkungen analysiert.

Die Aktivsumme, die durch die DSM ermittelt wird, stellt dabei einen Indikator hinsichtlich der Relevanz der Einflussfaktoren dar. So kann im Zuge der DSM beispielsweise festgestellt werden, dass Einflussfaktoren wie der Neuentwicklungsanteil, der Grad und die Art der Stakeholderinvolvierung oder die Komplexität die höchsten Aktivsummen aufweisen und damit die größten Treiber hinsichtlich Marktunsicherheit darstellen. Überdies lassen sich durch eine systematische Analyse der DSM Wirkketten der Einflussfaktoren identifizieren. Sollte ein Einflussfaktor mit hoher Aktivsumme – also hoher Relevanz – nicht objektiv bewertbar sein, wird analysiert, ob Faktoren, die auf der gleichen Wirkkette liegen und damit den eigentlichen Faktor beeinflussen, bewertbar sind und damit eine indirekte Bewertung hinsichtlich des eigentlich relevanten Faktors ermöglicht wird. Dadurch lässt sich eine Verkürzung der Liste potentieller Einflussfaktoren auf zehn Einflussfaktoren vornehmen. Eine Übersicht dieser konsolidierten Liste von Einflussfaktoren ist der nachfolgenden Abbildung 5.8 zu entnehmen.

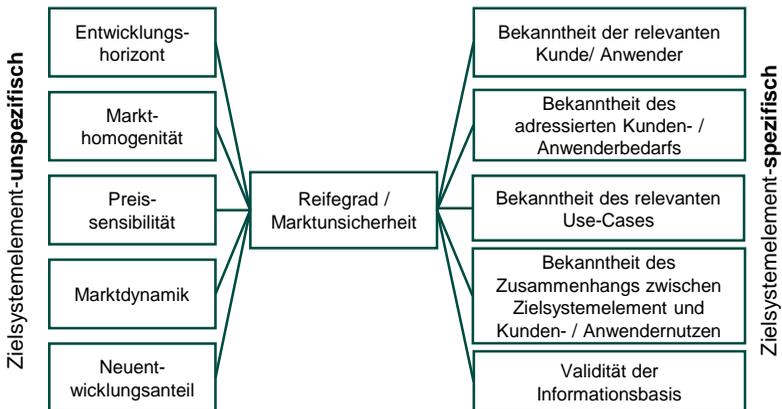


Abbildung 5.8: Einflussfaktoren der Dimension Reifegrad; links: zielsystemelementunspezifische -, rechts: zielsystemelementunspezifische Einflussfaktoren

Des Weiteren konnte im Rahmen der Analyse der Einflussfaktoren festgestellt werden, dass die Bewertung einiger dieser Faktoren zwar projektspezifisch wäre, gleichwohl für alle Zielsystemelemente gleich wäre. Dementsprechend sind diese Einflussfaktoren zielsystemelement-**unspezifisch**. Die Liste der relevanten Einflussfaktoren kann auf Basis dieser Betrachtung in fünf zielsystemelement-**spezifische** und fünf zielsystemelement-**unspezifische** Einflussfaktoren der Marktunsicherheit unterteilt werden.

Im Rahmen der Methodendurchführung werden sämtliche Zielsystemelemente durch den Methodenanwender hinsichtlich der zielsystemelement-**spezifischen** Einflussfaktoren bewertet. Darüber hinaus erfolgt projektübergreifend eine Bewertung bezüglich der zielsystemelement-**unspezifischen** Einflussfaktoren. Diese wird allerdings nicht bei der Ermittlung der Ausprägung der Dimension Reifegrad der einzelnen Zielsystemelemente berücksichtigt, sondern dient vielmehr der Ermittlung der auf Gesamtkontext vorliegenden Marktunsicherheit. Diese Bewertung des Gesamtkontexts ist aufgrund der Einzigartigkeit von Entwicklungsprojekten ALBERS (2010) notwendig und ermöglicht eine Vergleichbarkeit verschiedener Entwicklungsvorhaben. Eine hohe Marktunsicherheit des Gesamtkontexts bedingt wiederum, dass Methodenanwender stärker für kritische Zielsystemelemente – niedriger Reifegrad und hohe Auswirkung – sensibilisiert werden müssen als in Entwicklungsvorhaben mit einer geringeren Marktunsicherheit des Gesamtkontexts.

Faktormodell Härtegrad

Eine Bewertung der Zielsystemdimension Härtegrad kann erfolgen, indem direkt die Änderbarkeit des zu betrachtenden Zielsystemelements bewertet wird.

Faktormodell Auswirkung

Nach EBEL (2015, S. 104–105) muss bezüglich der Dimension Auswirkung zwischen endogenen und exogenen Auswirkungen unterschieden werden. Dabei beinhalten endogene Auswirkungen auf das zu entwickelnde Produkt bzw. die damit verbundene Entwicklung und umfassen sämtliche potenziell erforderlichen Zeit-, Ressourcen- und Kostenaufwände. Exogene Auswirkungen hingegen beziehen sich auf die Folgen, die Kunden und Anwender durch eine Zielumsetzung erfahren. Im Rahmen der Methodendurchführung erfolgt die Bewertung der Dimension Auswirkung entsprechend den, in der nachfolgenden Abbildung 5.9 dargelegten Einflussfaktoren, die sich den beiden Clustern – endogene und exogene Auswirkungen – zuordnen lassen.

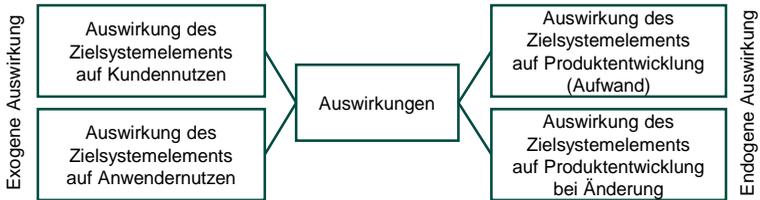


Abbildung 5.9: Einflussfaktoren der Dimension Auswirkung

Mathematisches Modell

Im Rahmen der Methodendurchführung wird jedes Zielsystemelement hinsichtlich der Einflussfaktoren auf einer fünfstufigen Skala bewertet – jeder Stufe wird eine festdefinierte, anschauliche Ausprägung zugeordnet. Um allerdings von den Einzelbewertungen der Einflussfaktoren auf einen Funktionswert der Dimension schließen zu können und damit eine quantitative Einordnung der Zielsystemelemente zu erhalten, bedarf es eines Rechenmodells. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurde dazu auf den Ansatz der kleinsten Fehlerquadrate zurückgegriffen, der äquivalent zur Regression von Messdaten ist. Zur Ermittlung der Funktionswerte der Dimensionen wird für jeden der Einflussfaktoren ein SOLL-Wert festgelegt, von dem dann das kleinste Fehlerquadrat ermittelt wird. Nachstehend ist die Formel zur Ermittlung des Funktionswerts der Dimension Reifegrad dargestellt, wobei die Funktionswerte der weiteren Dimensionen äquivalent werden:

$$f(\text{Reifegrad}) = \sum_{i=1}^n (\text{Faktor}_{i,\text{bewertet}} - \text{Faktor}_{i,\text{ideal}})^2 \quad 3$$

Dieser mathematische Ansatz eignet sich insbesondere für den angedachten Zweck, da durch die Ermittlung der Fehlerquadrate die kritischste Einzelbewertung stärker ins Gewicht fällt, als beispielsweise beim Bilden der Summe oder des Produkts (vgl. Risikoprioritätszahl der Fehler-Möglichkeiten-Einfluss-Analyse) der Einzelbewertungen. Darüber hinaus fallen kleine Abweichungen vom Ideal stärker ins Gewicht, als bei den anderen zuvor genannten Rechenmodellen.

Ein weiterer Vorteil besteht darin, dass durch die Ermittlung der Fehlerquadrate eine möglichst homogene Verteilung über den potentiellen Wertebereich erreicht wird.

So wird durch dieses Rechenmodell eine möglichst große Varianz des Wertebereichs erzielt. Demgegenüber ergeben beispielsweise beim Bilden des Produkts der Einzelbewertungen verschiedenen Kombinationen des Definitionsbereichs das gleiche Element des Wertebereichs. Dieser Sachverhalt ist in der nachfolgenden Darstellung exemplarisch abgebildet (vgl. Abbildung 5.10).

Gegenüberstellung der Visualisierung des potentiellen Wertebereichs für eine zwei-dimensionale Bewertung mittels

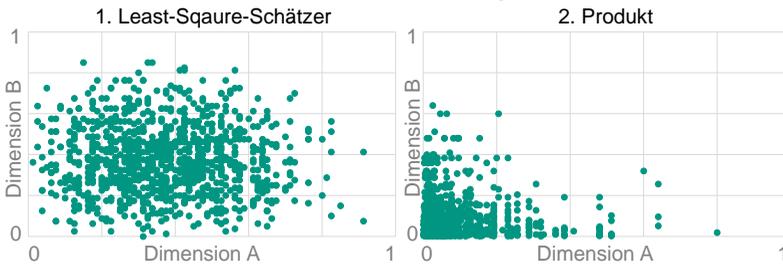


Abbildung 5.10: Potentieller normierter Wertebereich entsprechend verwendetem Rechenmodell; jeweils 1.000 zufallsverteilte Wertepunkte für 2 Dimensionen (A & B) mit jeweils fünf Einflussfaktoren

5.3.1.2 Methodendurchführung

Die Methodendurchführung lässt sich in folgende drei Schritte – *Bewertung der Zielsystemelemente*, *Bewertung des Gesamtkontexts* und *Visualisierung und Auswertung* – unterteilen.

Im Zuge der Aktivität *Bewertung der Zielsystemelemente* bewerten die Methoden-anwender sämtliche Zielsystemelemente hinsichtlich der Dimensionen Reifegrad, Härtegrad und Auswirkung. Die Bewertung erfolgt in diesem Zuge entsprechend der zuvor dargelegten Einflussfaktoren. Bei der Bezeichnung ebendieser wurde darauf geachtet, dass die Formulierung an die in Abschnitt 2.2.2.1 dargestellte Satzschablone angepasst ist, sodass die Durchgängigkeit der Methoden gewährleistet ist. Beim Durchführen des Schrittes *Bewertung des Gesamtkontexts* bewerten die Methoden-anwender, wie der Name bereits ausdrückt, den Kontext des Entwicklungsvorhabens entsprechend den Zielsystemelement-unspezifischen Einflussfaktoren der Marktunsicherheit (vgl. Abbildung 5.8).

Im Anschluss wird im Schritt *Visualisierung und Auswertung* die zuvor erfolgte Bewertung visualisiert und dergestalt eine Auswertung hinsichtlich der Kritikalität der Zielsystemelemente unterstützt. Zielsystemelemente mit einer hohen Auswirkung und einem geringen Reifegrad sind kritisch für den Erfolg des Produkts im Markt. Gemäß werden diese beiden Dimensionen auf der x-Achse – Reifegrad bzw. y-Achse – Auswirkung des Diagramms zur Visualisierung abgebildet (vgl. Abbildung 5.11). Der Härtegrad der Zielsystemelemente wird über die Farbe der Elemente dargestellt. Eine dunklere Einfärbung bedeutet einen höheren Härtegrad, also eine eingeschränkte Änderbarkeit des Zielsystemelements. Die Ermittlung der Funktionswerte erfolgt durch das zuvor dargestellte Rechenmodell. Die Auswertung hinsichtlich der Kritikalität wird durch die farbliche Gestaltung des Diagrammhintergrunds unterstützt, welche die notwendige Sensibilisierung des Bewusstseins der Produktentwickelnden für die vorliegenden Marktunsicherheiten fördert. Die rote Hinterlegung symbolisiert eine hohe Kritikalität, wohingegen die grüne Hinterlegung eine geringe Kritikalität bedeutet. Der Übergang der Farben wurde radial angeordnet, da direkt an den Achsen die höchste Kritikalität vorliegt. Die Bewertung der Unsicherheit des Gesamtkontexts führt zu einer Verschiebung der Flächenanteile rot zu grün. Ist der Gesamtkontext des Entwicklungsvorhabens stärker marktunsicherheitsbehaftet, ist der Anteil der roten Fläche größer (vgl. Abbildung 5.11 rechts).

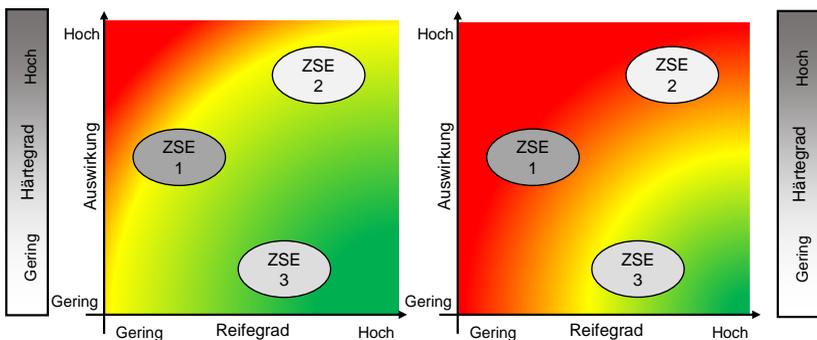


Abbildung 5.11: Schematische Darstellung der Diagramme zur Visualisierung und Auswertung der Bewertung für drei Zielsystemelemente; links liegt eine geringere kontextbezogene Unsicherheit vor als rechts (Zimmermann, Prinz et al., 2020, S. 215)

Methoden zum Umgang mit Marktsicherheiten bei der initialen Zielsystementwicklung

Zur Unterstützung der Methodenapplication wurde ein digitales Tool entwickelt, das drei verschiedene Ansichten aufweist, die jeweils einen der Methodenschritte unterstützen. Abbildung 5.12 zeigt Auszüge aus diesem digitalen Tool.

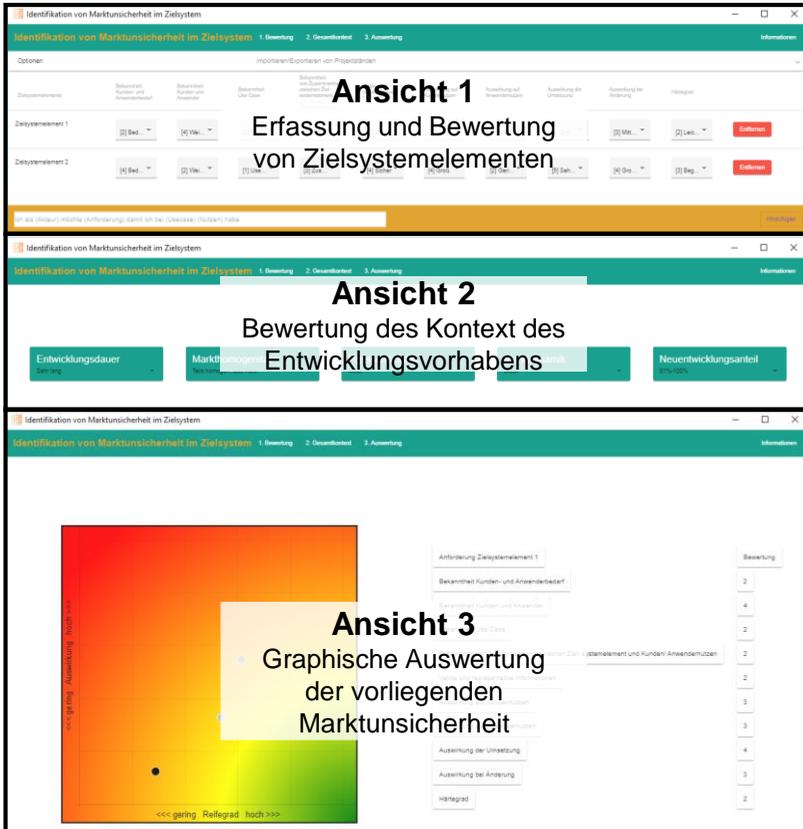


Abbildung 5.12: Screenshots der drei verschiedenen Ansichten im Tool, die jeweils einen Arbeitsschritt unterstützen

5.3.2 Zwischenfazit

Um mit Marktunsicherheiten behaftete Zielsystemelemente zu identifizieren und damit das Bewusstsein der Produktentwickelnden hinsichtlich dieser Marktunsicherheiten zu sensibilisieren, erfolgt im Rahmen der dargelegten Methoden eine Bewertung sämtlicher Zielsystemelemente entsprechend den Zielsystemdimensionen Reifegrad, Härtegrad und Auswirkung. Auf Basis dieser Bewertung können im Nachgang Zielsystemelemente hinsichtlich des Bedarfs der Validierung priorisiert werden. Da die Bewertung dieser Dimensionen allerdings ausschließlich subjektiv möglich ist, wurde ein Rechen- und für jede der Dimensionen ein Faktormodell erstellt, durch die eine objektive Bewertung möglich wird. Im Rahmen der Methodendurchführung werden sämtliche Zielsystemelemente gemäß den identifizierten Einflussfaktoren bewertet, wodurch für jedes dieser Zielsystemelemente die entsprechende Ausprägung der Dimensionen möglich wird. Das Ergebnis der Bewertung wird in einem zweidimensionalen Portfolio abgebildet. Durch die Farbgebung des Portfolios können mit Marktunsicherheiten behaftete Zielsystemelemente identifiziert werden und dergestalt das Bewusstsein der Produktentwickelnden hinsichtlich der vorliegenden Marktunsicherheiten gesteigert werden.

Einbezogen werden muss, dass durch die Anwendung der Faktormodelle und des Rechenmodells zwar eine Objektivierung der Bewertung ermöglicht wird, allerdings das Ergebnis weiterhin in gewissem Maß vom vorliegenden Handlungssystem abhängig ist. Es kann allerdings angenommen werden, dass dieser Einfluss die Zielsetzung der Methode, das Bewusstsein der Produktentwickelnden zu steigern, nicht kritisch beeinflusst, da durch die Bewertung der einzelnen Einflussfaktoren für die Produktentwickelnden die Marktunsicherheit als solche zugänglich gemacht werden kann. Damit ist gewährleistet, dass die Produktentwickelnden sich mit der Thematik auseinandersetzen, sodass das Bewusstsein für die vorliegenden Marktunsicherheiten unabhängig von der tatsächlichen Bewertung gesteigert wird. Darüber hinaus kann dem entgegengewirkt werden, indem die Bewertung im Rahmen eines interdisziplinären Workshops durchgeführt wird, an dem auch nicht direkt an der Produktentwicklung beteiligte Stakeholder, wie beispielsweise Vertreter des Marketings, teilnehmen. Ferner gilt es zu berücksichtigen, dass in dem Rechenmodell aktuell keine Gewichtung der Einflussfaktoren berücksichtigt wurde.

5.4 Initiales Zielsystem validieren⁹¹

Um die identifizierten Marktunsicherheiten bzw. die vorliegenden Wissenslücken, die hinsichtlich der Annahmen der Zielsystemelemente bestehen, zu reduzieren, bedarf es geeigneter Validierungsmethoden, die sich auch zu einem frühen Zeitpunkt im Entwicklungsprozess einsetzen lassen. Entsprechend den Ergebnissen der *Deskriptiven Studie 1* (vgl. Kapitel 4) besteht ein Bedarf hinsichtlich geeigneter Methoden zur frühen Validierung von Annahmen bezüglich der Bedürfnisse von Kunden und Anwendern sowie einer Unterstützung zur Auswahl ebendieser. Minimum Viable Products, die im Rahmen der Softwareentwicklung entstanden sind und insbesondere im Umfeld von Start-Ups eine große Verbreitung aufweisen, bieten eine Möglichkeit zur frühen Validierung hinsichtlich der Kunden- und Anwenderbedürfnisse (vgl. Abschnitt 2.3.2.1). Sie dienen als Referenzsystemelement zur Entwicklung einer methodischen Unterstützung, wobei es jedoch Entwickelnde bei der Auswahl geeigneter MVPs entsprechend dem Validierungsziel, aber auch den vorliegenden Rahmenbedingungen zu unterstützen gilt. Dazu soll der SPALTEN-Problemlösungsprozess (vgl. Abschnitt 2.3.2.1) zur Unterstützung der Methodenauswahl verwendet werden. Nachfolgend soll diesbezüglich analysiert werden, wie MVPs in die Mechatroniksystementwicklung integriert werden können. Dazu wird die folgende Forschungsfrage beantwortet:

2.4 Wie ist eine Methode zur Integration der Entwicklung von Minimum Viable Products unter Verwendung von Referenzen in die Mechatroniksystementwicklung zu konzipieren, um beim Validieren des initialen Zielsystems den frühen und kontinuierlichen Erkenntnisgewinn hinsichtlich Marktunsicherheiten zu fördern?

5.4.1 Methode zur Anwendung von Minimum Viable Products in der Mechatroniksystementwicklung

Um im Rahmen der Zielsystementwicklung systematisch Marktunsicherheiten zu reduzieren, gilt es Wissen zu generieren, um damit vorliegende Wissenslücken zu schließen. Nach ALBERS (2010) ist die Validierung die zentrale Aktivität, um Wissen zu generieren und dementsprechend Unsicherheiten zu reduzieren. Um die Produktentwickelnden während der Zielsystementwicklung zu unterstützen, können Minimum Viable Products (vgl. Abschnitt 2.3.2.1) eingesetzt werden. Mit einem MVP wird das Ziel verfolgt, getroffene Annahmen, beispielsweise Ziele, Anforderungen

⁹¹ Die in Abschnitt 5.4 dargestellten Ergebnisse sind teilweise in der Publikation (Zimmermann, Heimicke et al., 2021) veröffentlicht worden.

oder die Begründungen dieser, die den zu erzielenden Kunden- und oder Anwendernutzen betreffen, mit möglichst geringem Aufwand zu validieren. Diese Annahmen stellen Marktunsicherheitstreiber dar und sind damit potentielle Risiken hinsichtlich des Erfolgs des Produkts im Markt. Die Realisierung des MVPs muss nicht der Realisierung des geplanten Produkts entsprechen. Relevante Funktionen können vielmehr auch anders bzw. einfacher gelöst werden. So können die zu validierenden kundenerlebbaren Eigenschaften bzw. die Funktionen zur Realisierung ebendieser durch Bestandteile der Validierungsumgebung realisiert werden. Durch dieses Vorgehen können Aufwände reduziert werden, da insbesondere das Entwickeln und das Ändern des Produkts auf Basis der in der Validierung gesammelten Erkenntnisse einen großen Aufwand im Rahmen der Entwicklung physischer Produkte bedeuten. Das MVP ist derart aufzubauen, dass die zu validierenden kundenerlebbaren Eigenschaften des Produkts durch Kunden und Anwender gemäß den relevanten Anwendungsfällen wahrgenommen werden können. Dabei ist von entscheidender Bedeutung, dass entsprechend der Grundannahme des IPEK-XiL (vgl. Abschnitt 2.3.2) die Validierung eines Subsystems oder einer Teilfunktion lediglich sinnvoll durchgeführt werden kann, wenn diese in das entsprechende Gesamtsystem, aber auch die Umwelt und die entsprechende Interaktion mit den Systemnutzern integriert ist (Düser, 2010). Dabei können Teilsysteme, die nicht validiert werden sollen, jedoch zum Verständnis des betrachteten Systems oder dessen Anwendung relevant sind, aber auch die Umgebung des zu entwickelnden Systems von Referenzsystemelementen, wie beispielsweise der Vorgängergeneration übernommen bzw. entsprechend dieser aufgebaut werden.

In der Literatur wird eine Vielzahl von Ansätzen zur Erstellung von MVPs diskutiert, wobei im Stand der Forschung die relevantesten dargestellt worden sind (vgl. Tabelle 2.4). Zusätzlich sind viele dieser Ansätze miteinander kombinierbar. Die nachstehende Abbildung 5.13 zeigt einige im Rahmen der Support-Evaluation der Arbeit entstandene MVPs und gibt einen Eindruck hinsichtlich der Vielfältigkeit von MVPs. Die Auswahl eines geeigneten MVPs ist allerdings nicht ohne Weiteres eindeutig möglich. Um jedoch einen bestmöglichen Erkenntnisgewinn durch das MVP zu ermöglichen, gilt es, ebendieses situations- und bedarfsgerecht gemäß der vorliegenden Entwicklungssituation, den entsprechenden Rahmenbedingungen und dem Validierungsziel auszuwählen. Dazu wird nachfolgend der SPALTEN-Problemlösungsprozess (siehe Abschnitt 2.1.2.5) zur Methodenauswahl konkretisiert, um bei der systematischen Auswahl geeigneter MVPs zu unterstützen.



Abbildung 5.13: (1) Produktinformationsblatt; (2) Comic zur Validierung des Kundennutzens; (3) Video zur Validierung des Kundennutzens; (4 & 5) Kombination verschiedener 3-D-Rapid-Prototyping-MVPs; (4) 3-D-Miniatur, um zugehörige Abläufe darzustellen; (5) Karton mit Gewichten, um Usability zu validieren; (6) Wireframe eines physischen Teilprodukts zur Validierung einer Teilproduktfunktion; (7) zwei Entwicklungsgenerationen digitaler Wireframes (Hayek, 2020; Schnurr, 2020)⁹²

⁹² Co-betreute Abschlussarbeiten (unveröffentlicht)

5.4.1.1 Unterstützung der Auswahl von Minimum Viable Products

Um Produktentwickelnde bei der Auswahl geeigneter Validierungsmethoden zu unterstützen, wird der SPALTEN-Prozess der Validierung (Albers, Behrendt et al., 2016) durch unterstützende Fragestellung konkretisiert und um ein Portfolio zur MVP-Auswahl erweitert. In diesem werden sämtliche der zuvor genannte MVP-Ansätze entsprechend ihren Eigenschaften abgebildet. Dazu werden diese gemäß ihrer Eignung für die Einsatzzwecke physisches und digitales Teilprodukt, notwendiger Aufwand zur Umsetzung des MVPs, geeigneter Anwendungszeitpunkt im Produktentstehungsprozess und Validierungsziel charakterisiert. Zudem werden Steckbriefe für sämtliche MVPs hinterlegt, die die Produktentwickelnden bei der Erstellung der MVPs unterstützen. Nachfolgend wird die Unterstützung der MVP-Auswahl entlang der SPALTEN-Problemlösungsmethode vorgestellt:

- 1) **Situationsanalyse:** In einem ersten Schritt werden zunächst die vorliegende und zu schließende Wissenslücke und die zu betrachtende Entwicklungssituation analysiert. So gilt es beispielsweise den Zeitpunkt im Entwicklungsprozess, verfügbare Ressourcen oder die Art der vorliegenden Unsicherheit zu bestimmen. Hierbei kann beispielsweise auf die Informationen der vorherigen Bewertung (vgl. Abschnitt 5.3) zurückgegriffen werden, in der die Wissenslücke durch das Faktormodell konkretisiert wird. So kann beispielsweise unterschieden werden, ob sie sich auf die Zielgruppe, den Nutzen oder ähnliches beläuft. Ferner ist zu definieren, ob ein physisches oder ein digitales Produkt entwickelt wird. Leitfragen, die in diesem Schritt unter anderem von Relevanz sind, lauten folglich: Welche Art von Produkt soll entwickelt werden? (physisches Produkt, digitales Produkt, mechatronisches Produkt etc.). In welcher Phase der Produktentstehung befindet sich das Entwicklungsprojekt? Welche Ausprägung hat die vorliegende Marktunsicherheit?
- 2) **Problemeingrenzung:** In der sich anschließenden *Problemeingrenzung* sind die zuvor gesammelten Informationen zu verdichten und die entsprechenden Auswahlkriterien weiter zu spezifizieren. Dazu wird das Validierungsziel beschrieben, die zu berücksichtigenden Stakeholder spezifiziert und die relevanten Rahmenbedingungen definiert. Leitfragen, die dabei von Relevanz sind, lauten folglich: Welche Stakeholder sind für die Validierung bzw. für das zu validierende Zielsystemelement von Relevanz? Welche Validierungsziele lassen sich entsprechend der vorliegenden Unsicherheit und dem zu validierenden Zielsystemelement Ziel ableiten?
- 3) **Alternative Lösungen:** Den spezifizierten Auswahlkriterien gemäß wird im Schritt *Alternative Lösungen* eine Vorauswahl potentieller MVPs getroffen. Um diese Auswahl zu unterstützen und zu systematisieren, wurde jeweils ein Portfolio zur Auswahl geeigneter MVPs für digitale Produkte und für

MVPs sind auch in mehreren Feldern der Portfolios wiederzufinden bzw. gehen über die Grenzen der Felder hinaus. Sie eignen sich demnach zu verschiedenen Entwicklungszeitpunkten oder hinsichtlich mehrerer Validierungsziele. Die Größe der Balken hat dabei keine Aussagekraft bezüglich der Eignung, sondern dient lediglich der Reduktion der Balkenanzahl und damit der vereinfachenden Darstellung. Folglich wird im Schritt *Alternative Lösungen* auf Basis der zuvor spezifizierten Validierungsziele und Rahmenbedingungen der vorliegenden Entwicklungssituation durch die beiden Portfolios systematisch eine Vorauswahl geeigneter MVPs getroffen.

- 4) **Lösungsauswahl:** Auf Basis dieser Vorauswahl wird im Schritt *Lösungsauswahl* das geeignete MVP ausgewählt. Hierbei werden weitere Entscheidungskriterien wie beispielsweise die verfügbaren und notwendigen Ressourcen oder Betriebsmittel zur Erstellung der MVPs relevant. Um dem Methodenanwender diesbezüglich einen Überblick zu verschaffen, ist für jedes MVP ein Methodensteckbrief hinterlegt, der acht Felder enthält, die nachfolgend dargelegt werden.



Bezeichnung

Beinhaltet den Namen des MVPs.



Abbildung

Beinhaltet eine zugehörige Abbildung, um dem Methodenanwender eine Impression hinsichtlich des Aufbaus und der Gestaltung des MVPs zu verschaffen.



Vorgehensweise

Beschreibt, wie die Erstellung des MVPs erfolgt und wie dieses zur Validierung genutzt werden kann.



Best Practice

Enthält einen (digitalen) Ablageort, an dem die Dokumentation und bereits erstellte MVPs abgelegt werden. Zusätzlich sollen hier, neben den Ergebnissen der Validierung, auch Erfahrungsberichte abgelegt werden. Somit kann im Sinne der Produktgenerationsentwicklung die Erstellung von MVPs auf bereits erstellten aufbauen, die somit als Referenzsystemelemente für die Entwicklung weiterer MVPs dienen.



Beschreibung

Die Beschreibung hilft dem Methodenanwender, einen Eindruck zu gewinnen, wie ein derartiges MVP aussehen kann. Sie stellt generisch das MVP und den Zusammenhang zu den Validierungszielen dar.



Bewertung

Auf einer jeweils vierstufigen Skala werden Einschätzungen hinsichtlich der beiden Größen Erstellungsaufwand (zeitlich) und Erstellungskosten (finanziell) dargestellt. Dabei sind die beiden Größen lediglich qualitativ dargestellt, um eine Vergleichbarkeit zwischen verschiedenen MVPs zu ermöglichen.

Benötigte Ressourcen In diesem Feld werden sämtliche zur Erstellung relevanten Ressourcen dargestellt. Der Fokus liegt auf den notwendigen Tools. So werden im Zuge des MVPs Video Programme zur Videoerstellung aufgelistet.

Validierungsziel Um potentielle Synergien zu erkennen, werden sämtliche Validierungsziele aufgelistet, die durch das MVP adressiert werden. Somit kann der Methodenanwender potentielle Synergien zu anderen notwendigen Validierungsaktivitäten erkennen und eventuell bis dato getrennte Validierungsaktivitäten zusammenlegen.

Nachfolgend ist exemplarisch der Steckbrief des MVPs Produktinformationsblatt dargestellt (vgl. Abbildung 5.15).

<p>Produktinformationsblatt</p> 	<p>Ein Produktinformationsblatt enthält die aus Kunden- und Anwendersicht wichtigsten Informationen. Neben der Beschreibung der Anwendungsfälle enthält es zentrale Produkteigenschaften und beschreibt den damit verbundenen Kunden- und Anwendernutzen. Das Augenmerk sollte auf den zu validierenden Eigenschaften liegen. So kann z.B. ein Zielpreis eingefügt werden, wenn Unsicherheiten bzgl. der Zahlungsbereitschaft bestehen.</p>												
<p>Vorgehensweise:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) Analyse des Produktinformationsblatts eines Referenzsystemelementes 2) Erzeugen eines Produktinformationsblatts auf Basis des Produktinformationsblatts des Referenzelements <ul style="list-style-type: none"> • Integration von Informationen entsprechend Validierungsziel (z.B. Preis, etc.), geeignete Abbildungen <p>/E-Laufwerk/MVP Produktinformationsblatt</p>	<table border="1"> <tr> <td>Erstellungsaufwand (zeitlich)</td> <td>Niedrig</td> <td>Hoch</td> </tr> <tr> <td>Erstellungskosten</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td> <ul style="list-style-type: none"> • PowerPoint • Word </td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td> <ul style="list-style-type: none"> • Kaufbereitschaft • Kundennutzen </td> <td> <ul style="list-style-type: none"> • Anwendernutzen • Gesamtproduktfunktion </td> <td></td> </tr> </table>	Erstellungsaufwand (zeitlich)	Niedrig	Hoch	Erstellungskosten			<ul style="list-style-type: none"> • PowerPoint • Word 			<ul style="list-style-type: none"> • Kaufbereitschaft • Kundennutzen 	<ul style="list-style-type: none"> • Anwendernutzen • Gesamtproduktfunktion 	
Erstellungsaufwand (zeitlich)	Niedrig	Hoch											
Erstellungskosten													
<ul style="list-style-type: none"> • PowerPoint • Word 													
<ul style="list-style-type: none"> • Kaufbereitschaft • Kundennutzen 	<ul style="list-style-type: none"> • Anwendernutzen • Gesamtproduktfunktion 												

Abbildung 5.15: Steckbrief MVP Produktinformationsblatt (verkürzte Darstellung) (Zimmermann, Heimicke et al., 2021)

- 5) **Tragweitenanalyse:** Nach der Auswahl eines geeigneten MVPs wird dessen Einsatz bewertet. Dazu müssen Chancen und Risiken des einzusetzenden MVPs bzw. des Einsatzes des MVPs analysiert werden.
- 6) **Entscheiden und Umsetzen:** Im Rahmen des Schritts *Entscheiden und Umsetzen* findet die Durchführung der Validierung, also der Aufbau des ausgewählten MVPs und die Validierung bei Kunden und/oder Anwendern statt. Entsprechend der Fraktalität der SPALTEN-Problemlösungsme-

thode lässt sich der Schritt *Entscheiden und Umsetzen* als Methodendurchführung durch einen eigenen SPALTEN-Problemlösungsprozess beschreiben. Die im Rahmen der Validierung aggregierten Erkenntnisse werden anschließend zur Identifikation weiterer Wissens- und Definitionslücken genutzt.

- 7) **Nachbereiten und Lernen:** Der letzte Schritt *Nachbereiten und Lernen* dient dem kontinuierlichen Wissenszugewinn und der Optimierung. In diesem gilt es, die gesammelten Erfahrungen zu rekapitulieren und zu dokumentieren. Dabei werden sowohl die gesammelten Erkenntnisse der Methodenanwendung als auch gesammelte Validierungsergebnisse verarbeitet. Die Erkenntnisse, die in künftigen Methodenanwendungen relevant sein können, sollen dabei aufbereitet und abgelegt und mit dem entsprechenden Methodensteckbrief verlinkt (Best Practice) werden.

5.4.2 Zwischenfazit

Um Wissenslücken hinsichtlich mit Marktunsicherheiten behafteten Zielsystemelementen zu reduzieren, gilt es die frühe und kontinuierliche Validierung zu fördern. Allerdings ist festzustellen, dass der Aufwand der Validierung häufig als groß angesehen wird und wenige geeignete Ansätze zur Validierung bekannt sind. Im Rahmen der dargelegten Methode wird die Auswahl und der Aufbau von MVPs bei der Entwicklung mechatronischer Produkte unterstützt. Ein MVP stellt dabei die Version eines Produkts dar, bei der mit möglichst geringem Aufwand das Produkt aus Kunden- und oder Anwendersicht validiert werden kann, wobei die relevanten Funktionen nicht entsprechend dem für das Endprodukt angedachten Lösungsprinzip realisiert werden müssen, sondern vielmehr auch durch die Validierungsumgebung oder ähnliches abgebildet werden können. Aufgrund der Vielzahl der verfügbaren Möglichkeiten zum Aufbau von MVPs bedarf es einer Unterstützung der Auswahl, die im Rahmen der dargelegten Methode durch den SPALTEN-Problemlösungsprozess und ein Portfolio abgebildet wird. Dazu erfolgt eine Analyse der vorliegenden Entwicklungssituation und eine Charakterisierung der Wissenslücke bzw. Formulierung eines adäquaten Validierungsziels. Auf diese Weise wird die situations- und bedarfsgerechte Auswahl geeigneter MVPs ermöglicht und somit die vorliegende Wissenslücke reduziert. Folglich kann durch die Methode die vorliegende Marktunsicherheit hinsichtlich der kritischen Zielsystemelemente gemindert werden.

Dabei ist zu beachten, dass der Aufbau der MVPs und insbesondere die Durchführung der Validierung keine trivialen Aktivitäten sind. So bestehen neben dem Ableiten des richtigen Validierungsziels und dem Aufbau von MVPs Herausforderungen

bei der Durchführung der Validierung selbst, die sich insbesondere auf die Kommunikation mit Kunden und Anwendern belaufen.

5.5 Fazit

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurden vier konsekutiv durchführbare Methoden abgeleitet, die im Rahmen der Aktivitäten der initialen Zielsystementwicklung – initiales Zielsystem ableiten, initiales Zielsystem erweitern, initiales Zielsystem bewerten und initiales Zielsystem validieren – beim Umgang mit den in der Entwicklung vorliegenden Marktunsicherheiten unterstützen⁹³ (vgl. Abbildung 5.16). Die Methoden adressieren dabei die Rahmenbedingungen der Mechatroniksystementwicklung, wobei insbesondere die Rahmenbedingungen der Untersuchungsumgebung Hekatron Brandschutz im Fokus der Betrachtung standen.

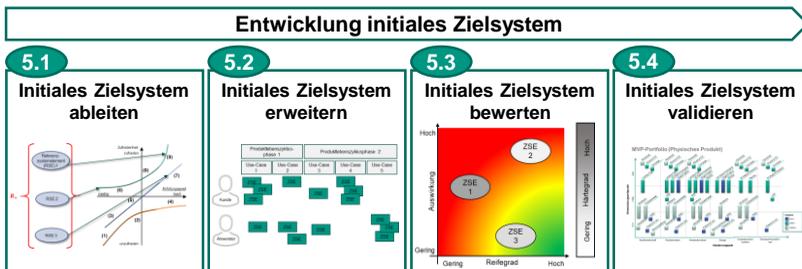


Abbildung 5.16: Übersicht der vier vorgestellten Methoden der Zielsystementwicklung zum Umgang mit Marktunsicherheiten

Zur Methodenentwicklung wurden folgende Teilforschungsfragen beantwortet:

2.1 Wie ist eine Methode zu gestalten, um beim Ableiten des initialen Zielsystems bei der Auswahl von Referenzsystemelementen im Modell der PGE auf Basis des Kano-Modells zu unterstützen, um Marktunsicherheiten zu reduzieren?

⁹³ Um die Lesbarkeit der Arbeit zu erleichtern, werden nachfolgend die Methoden in Anlehnung an die zu unterstützende Aktivität benannt. So wird beispielsweise die Methode zur Unterstützung der Aktivität initiales Zielsystem ableiten auch als *Methode Initiales Zielsystem ableiten* bezeichnet.

Bei der Definition einer neuen Produktgeneration gilt es, kundenerlebte Produkteigenschaften im Verhältnis zu eigenen bereits im Markt verfügbaren Produktgenerationen, aber auch im Verhältnis zu Wettbewerbsprodukten zu differenzieren. Die Auswahl der zu differenzierenden Produkteigenschaften und die Ausprägung ebendieser beeinflusst demgemäß die Kunden- und Anwenderzufriedenheit und damit den Erfolg des Produkts im Markt, ist dabei gleichwohl mit Marktunsicherheiten behaftet. Dementsprechend gilt es im Zuge der Aktivität initiales Zielsystem ableiten durch eine geeignete Methode bei der Auswahl der zu differenzierenden Produkteigenschaften und damit dem Umgang mit Marktunsicherheiten zu unterstützen. Dazu wird vorliegend eine Methode hergeleitet, im Rahmen derer durch Kunden- und Anwenderbefragungen Wissen bzgl. der bereits am Markt verfügbaren und damit bei Kunden sowie Anwendern bekannten Referenzsystemelemente, wie beispielsweise der G_{n-1} , gesammelt wird. Auf Basis dieser Befragung werden unter Zuhilfenahme des Kano-Modells, zu differenzierende Produkteigenschaften identifiziert, die im Verhältnis zu bestehenden Produktgenerationen anzupassen sind, um die zu entwickelnde Produktgeneration G_n hinsichtlich der Kunden- und Anwenderzufriedenheit zu optimieren. Ergänzend werden entsprechend den zu differenzierenden Produkteigenschaften mithilfe des Kano-Modells (vgl. Abschnitt 2.2.2.3) Referenzsystemelemente ausgewählt, die die Realisierung dieser zu differenzierenden Produkteigenschaft aus Kunden- und Anwendersicht beschreiben. Die möglichen Kombinationen von Differenzierungseigenschaften und zugeordneten Referenzsystemelementen bilden eine Grundlage des Produktprofils und damit einen zentralen Bestandteil des initialen Zielsystems (vgl. Abschnitt 5.1).

2.2 Wie ist eine Methode zur Integration von Kunden und Anwendern beim Erweitern des initialen Zielsystems zu gestalten, mit dem Ziel Definitionslücken zu schließen und damit Marktunsicherheiten zu reduzieren?

Im Zuge der initialen Zielsystementwicklung kann Marktunsicherheit in Form von aus Kunden- und Anwendersicht fehlenden oder unvollständigen Zielsystemelementen – also Definitionslücken – vorliegen. Dementsprechend gilt es die Aktivität initiales Zielsystem erweitern mit geeigneten Methoden zu unterstützen, um das Schließen dieser Lücken und damit die Reduktion von Marktunsicherheiten zu fördern. Dahingehend wird im Rahmen der vorliegenden Arbeit ein interdisziplinärer Workshop mit Produktentwickelnden, Vertriebsmitarbeitenden, aber auch Kunden und Anwendern dargelegt, in dem systematische neue Zielsystemelemente in Form von User-Stories gesammelt werden, um die Definitionslücken zu schließen. Zur Unterstützung der Identifikation ebendieser wird die Methode durch ein Portfolio unterstützt, das aus den zu betrachtenden Personas und Use-Cases besteht und auf Basis der zuvor ausgewählten Referenzsystemelemente bzw. der zugehörigen (zu rekonstruierenden) Zielsysteme abgeleitet wird (vgl. Abschnitt 5.2).

2.3 Wie ist eine Methode zum Bewerten des initialen Zielsystems zu gestalten, um systematisch mit Marktunsicherheiten behaftete Zielsystemelemente zu identifizieren und damit das Bewusstsein der Produktentwickelnden hinsichtlich der vorliegenden Marktunsicherheit zu steigern?

Um das Bewusstsein der Produktentwickelnden für Zielsystemelemente, die mit Marktunsicherheiten behaftet sind, zu steigern, gilt es diese im Zuge der Aktivität initiales Zielsystem bewerten zu identifizieren und kenntlich zu machen. Dazu werden im Zuge der abgeleiteten Methode sämtliche Zielsystemelemente hinsichtlich der Dimensionen Reifegrad, Auswirkung und Härtegrad gemäß aus der Literatur abgeleiteter Faktormodelle bewertet. Zur Identifikation der kritischen Zielsystemelemente werden ebendiese nach der Bewertung in einem Diagramm dargestellt, wobei die Farbgebung des Diagramms Rückschlüsse hinsichtlich der Kritikalität ermöglicht und dergestalt das Bewusstsein der Produktentwickelnden hinsichtlich der vorliegenden Marktunsicherheit sensibilisiert. Um verschiedene Entwicklungsvorhaben vergleichen zu können, erfolgt zusätzlich eine Bewertung, der im Kontext des Entwicklungsprojekts vorliegende Marktunsicherheit, die die Farbgebung des Diagramms beeinflusst (vgl. Abschnitt 5.3).

2.4 Wie ist eine Methode zur Integration der Entwicklung von Minimum Viable Products unter Verwendung von Referenzen in die Mechatroniksystementwicklung zu konzipieren, um beim Validieren des initialen Zielsystems den frühen und kontinuierlichen Erkenntnisgewinn hinsichtlich Marktunsicherheiten zu fördern?

Zur Reduktion der vorliegenden Marktunsicherheiten, bedarf es der Integration geeigneter Validierungsansätze zur Unterstützung der Aktivität initiales Zielsystem validieren. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wird dazu gemäß der SPALTEN-Problemlösungsmethode zunächst die vorliegende Wissenslücke und die vorliegenden Entwicklungssituation analysiert. Darauf aufbauend werden die Validierungsziele festgelegt und anhand eines Portfolios situations- und bedarfsgerecht geeignete Validierungsmethoden ausgewählt. Dabei wurde vorliegend der in der agilen Softwareentwicklung etablierte Ansatz der Minimum Viable Products unter Berücksichtigung der Rahmenbedingungen der Mechatroniksystementwicklung fokussiert (vgl. Abschnitt 5.4).

Bei der initialen Zielsystementwicklung handelt es sich, wie bereits erwähnt, keinesfalls um einen sequentiell ablaufenden Prozess, bei dem sämtliche Aktivitäten stringent hintereinander durchgeführt werden. Somit können die vorgestellten Methoden sowohl in der beschriebenen Reihenfolge als auch unabhängig voneinander angewendet werden.

6 Evaluation der Methoden zum Umgang mit Marktunsicherheiten bei der initialen Zielsystementwicklung

Nachfolgend werden die Ergebnisse der *Deskriptiven Studie 2* dargestellt. Dazu werden die in Kapitel 5 dargelegten Methoden zur Unterstützung der Aktivitäten der initialen Zielsystementwicklung in zwei verschiedenen Fallstudien angewendet und evaluiert, um die dritte Forschungsfrage zu beantworten:

3. Welchen Beitrag leisten diese Methoden der initialen Zielsystementwicklung hinsichtlich des Umgangs mit Marktunsicherheiten, mit denen Zielsystemelemente behaftet sind, unter definierten Rahmenbedingungen⁹⁴?

Abbildung 6.1 vermittelt einen Überblick über die beiden Fallstudien:

	Fallstudie A	Fallstudie B
Studientyp	Live-Lab Studie mit Test- und Kontrollgruppe	Feldstudie in realem Entwicklungsprojekt
Projekthalt	Entwicklung von Lösungen für Innenräume von Fahrzeugen	Entwicklung eines Prüfgeräts zur Überprüfung von Brandmeldern im Feld
Zeitraum	2020/2021 (ca. 3 Wo.)	2020 (ca. 8 Mo.)
Projektpartner	Faurecia	Hekatron Vertriebs GmbH
Rolle Autor	Methodencoach und Moderator	Projektleiter, Moderator, Methodenanwender
Umfang Methodendurchführung	Teilweise (Methode 2 & 3)	Vollständig
Anwendungsevaluation	Vollständig	Teilweise
Erfolgsevaluation	Vollständig	Vollständig

Abbildung 6.1: Übersicht und Charakterisierung der beiden Evaluationsfallstudien

⁹⁴ Definierte Rahmenbedingungen des Live-Labs Integrierte Produktentwicklung oder der Untersuchungsumgebung Hekatron Brandschutz.

Die Fallstudie A findet im Rahmen des am IPEK – Institut für Produktentwicklung durchgeführten studentischen Produktentwicklungsprojekts IP – Integrierte Produktentwicklung statt. Der Autor der vorliegenden Arbeit tritt dabei als Moderator auf und unterstützt die Anwendung der Methoden durch die Studierenden, wobei eine Unterteilung in Test- und Kontrollgruppe vorgenommen wird. Im Rahmen dieser Studie werden die Methoden zur Unterstützung der Aktivitäten initiales Zielsystem erweitern (vgl. Abschnitt 5.2) und initiales Zielsystem bewerten (vgl. Abschnitt 5.3) durchgeführt. Der Fokus der Studie liegt auf der Messung der Änderung des Bewusstseins der Produktentwickelnden für Marktunsicherheiten durch die Bewertung des Zielsystems. Dazu wird die folgende Unterfrage beantwortet:

3.1 Welchen Beitrag leistet die *Methode Initiales Zielsystem bewerten* hinsichtlich der Steigerung des Bewusstseins der Produktentwickelnden für die Marktunsicherheiten, mit denen Zielsystemelemente behaftet sind, unter den Rahmenbedingungen des Live-Labs Integrierte Produktentwicklung? (vgl. Kapitel 6.1)

Die Fallstudie B wird im Kontext eines Produktentwicklungsprojekts von Hekatron Brandschutz durchgeführt, in dem eine neue Produktgeneration eines Prüfgeräts zur Überprüfung der Funktion von Brandmeldern im Feld entwickelt wird. In diesem Zusammenhang erfolgt die Anwendung der Methoden teilweise durch den Autor der vorliegenden Arbeit, der als Projektleiter in dem beschriebenen Entwicklungsvorhaben fungiert, oder durch Produktentwickelnde von Hekatron Brandschutz. Folglich wird die empirische Methode teilnehmende Beobachtung angewendet. Im Rahmen dieser Studie werden sämtliche der in Kapitel 5 dargestellten Methoden zur Unterstützung der initialen Zielsystementwicklung konsekutiv durchgeführt, wobei primär die Auswirkung dieser auf die vorliegende Marktunsicherheit untersucht wird. Dazu wird die folgende Unterfrage beantwortet:

3.2 Welchen Beitrag leisten die Methoden der initialen Zielsystementwicklung hinsichtlich der subjektiv eingeschätzten vorliegenden Marktunsicherheit unter den Rahmenbedingungen der Untersuchungsumgebung Hekatron Brandschutz? (vgl. Kapitel 6.2)

6.1 Fallstudie A: Entwicklung von Lösungen für Innenräume von Fahrzeugen

Im Rahmen der Fallstudie A wird eine Evaluation der zuvor vorgestellten *Methoden Initiales Zielsystem erweitern* (vgl. Abschnitt 5.2) und *Initiales Zielsystem bewerten* (vgl. Abschnitt 5.3) im Sinne einer Anwendungs- und einer Erfolgsevaluation durchgeführt, wobei im Fokus dieser Evaluationsstudie insbesondere das Bewusstsein

der Probanden für die vorliegende Marktunsicherheit steht. Folglich ist insbesondere festzustellen, ob Probanden, die mit der beschriebenen Methode, im Gegensatz zu denen, die keine methodische Unterstützung erhalten, nach der Methodendurchführung ein erhöhtes Bewusstsein für Marktunsicherheiten aufweisen.

Dazu wird die Fallstudie A im Rahmen des Live-Labs IP als studentisches Produktentwicklungsprojekt durchgeführt. Ein Live-Lab ist nach ALBERS, BURSAC, WALTER, HAHN und SCHRÖDER (2016) eine Validierungsumgebung, um Methoden, Prozesse oder Tools gleichzeitig unter realistischen, aber auch kontrollierbaren Rahmenbedingungen zu evaluieren. Damit decken Live-Labs sowohl die Vorteile von Feldstudien als auch die von Laborstudien ab (Albers, Walter, Wilmsen & Bursac, 2018). Im Rahmen des Live-Labs IP bearbeiten 42 Studierende der Masterstudiengänge Maschinenbau, Mechatronik und Wirtschaftsingenieurwesen in 7 Teams über eine Dauer von einem Semester eine reale Entwicklungsaufgabe, die von einem industriellen Projektpartner gestellt wird. Dabei werden die Studierenden von Mitarbeitenden des Instituts für Produktentwicklung betreut und erhalten neben dem Entwicklungsprojekt im Rahmen von Vorlesungen und Workshops Wissen hinsichtlich der angewendeten Entwicklungsmethodik (Albers, Bursac, Heimicke, Walter & Reiß, 2018). Der dem Live-Lab zugrunde liegende Entwicklungsprozess gliedert sich entsprechend dem agilen ASD-Prozess in fünf aufeinander aufbauende Phasen, die sich von einer initialen Markt- und Technologieanalyse bis hin zur Entwicklung funktionsfähiger physischer Prototypen erstrecken (vgl. Abbildung 6.2). Im Rahmen der Meilensteine präsentieren die Entwicklungsteams dem Projektpartner die generierten Ergebnisse (Albers, Bursac et al., 2018).

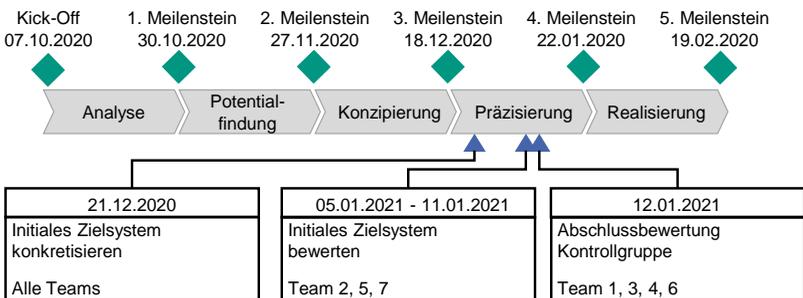


Abbildung 6.2: Referenzprozess des Live-Labs Integrierte Produktentwicklung mit Meilensteinen und Zeitpunkten der empirischen Studien

Die Fallstudie A wird im Rahmen des Live-Labs IP im Wintersemester 2020/21 durchgeführt. Industrieller Projektpartner ist die Firma Faurecia, die folgende Aufgabenstellung an die studentischen Entwicklungsteams stellt: „Von standardisierten, fahr(er/in)orientierten automotiven Innenraumsystemen zum insassenzentrierten well-being Erlebnis einer nachhaltigen Mobilität“. Folglich ist es die Aufgabe der Studierenden, Lösungen für Fahrzeuginnenräume zu entwickeln, um individuelle Gestaltungsmöglichkeiten für Fahrzeugpassagiere zu generieren, die eine hohe Kunden- und Anwenderorientierung aufweisen. Dabei wird die folgende Forschungsfrage beantwortet:

3.1 Welchen Beitrag leistet die *Methode Initiales Zielsystem bewerten* hinsichtlich der Steigerung des Bewusstseins der Produktentwickelnden für die Marktunsicherheiten, mit denen Zielsystemelemente behaftet sind, unter den Rahmenbedingungen des Live-Labs Integrierte Produktentwicklung?

6.1.1 Studiendesign

Der Fokus der Fallstudie A ist vorrangig darauf ausgerichtet, durch eine Untersuchung mit Test- und Kontrollgruppe zu analysieren, inwiefern den Probanden durch die Methoden die vorliegenden Marktunsicherheiten verstärkt bewusst gemacht werden können. Um valide Aussagen zu erzielen, ist es von entscheidender Bedeutung, dass sämtliche Probanden, unabhängig davon, ob sie Bestandteil der Test- oder Kontrollgruppe sind, die gleiche Ausgangsbasis haben. Demgemäß wird im Rahmen der Fallstudie A zunächst mit sämtlichen Probanden die Methode zur Unterstützung der Aktivität initiales Zielsystem erweitern durchgeführt und im Anschluss daran die Unterteilung in Test- und Kontrollgruppe vorgenommen, bevor dann mit der Testgruppe die Methode initiales Zielsystem bewerten angewendet wird.

Im Vorfeld des studentischen Entwicklungsprojekts Integrierte Produktentwicklung wurde entschieden, dass der bestmögliche Zeitpunkt der Methodendurchführung zu Beginn der Präzisierung ist (vgl. Abbildung 6.2). Zu diesem Zeitpunkt haben die Studierenden bereits gemeinsam mit dem Projektpartner sowohl ihr Produktprofil als auch die zugehörige Idee zur technischen Realisierung ausgewählt. Folglich wird ein erster Workshop, zur Durchführung der *Methode Initiales Zielsystem erweitern*, unmittelbar nach dem Meilenstein zum Abschluss der Konzipierungsphase abgehalten. Dieser wurde aufgrund der zu diesem Zeitpunkt vorherrschenden Covid-19-Pandemie und der damit verbundenen Regierungsbeschlüsse hinsichtlich einer Kontaktbeschränkung digital durchgeführt. Im Rahmen des Workshops sammeln

die Teams jeweils auf einem Conceptboard⁹⁵, das im Vorfeld mit den relevanten Use-Cases und Personas versehen wird, Zielsystemelemente gemäß ihrem Produktprofil und der zugehörigen Idee und dokumentieren diese in Form von User-Stories. Im Anschluss werden gemeinsam mit den Betreuern drei Teams (Team 2, Team 5 und Team 7) ausgewählt, die die Testgruppe bilden. Dazu wird die Bereitschaft sämtlicher Teams hinsichtlich des Interesses der Weiterarbeit im Umfeld Marktunsicherheit evaluiert. Die weiteren Teams dienen als Kontrollgruppe. Mit den Teams der Testgruppe werden im Rahmen individueller Termine sämtliche gefundenen Zielsystemelemente entsprechend der Methode – *Initiales Zielsystem bewerten* – bewertet.

Zur Evaluation der *Methode Initiales Zielsystem erweitern* erfolgt eine fragebogenbasierte Befragung der Probanden vor und nach der Methodendurchführung. Durch dieses zweistufige Evaluationskonzept kann eine Aussage hinsichtlich der Veränderung der zu betrachtenden Faktoren abgeleitet werden. Im Rahmen der Erfolgsevaluation bewerten die Probanden subjektiv jeweils vor und nach der Methodendurchführung die beiden messbaren Erfolgsfaktoren:

- Vollständigkeit des Zielsystems
- Insgesamt vorliegende Marktunsicherheit

Die Befragung zur Evaluation der *Methode Initiales Zielsystem bewerten* wird aufgrund der zuvor genannten Beweggründe erneut zweistufig durchgeführt. Den Fragebogen erhalten die Probanden der Testgruppe unmittelbar nach der Methodendurchführung. Die Teams der Kontrollgruppe bekommen den Fragebogen zu dem Zeitpunkt, zu dem Team 2 als letztes Team der Testgruppe den Fragebogen erhält. Im Rahmen der Erfolgsevaluation bewerten die Probanden der Test- und Kontrollgruppe subjektiv die messbaren Erfolgsfaktoren, wobei durch die Gegenüberstellung der Bewertung von Test- und Kontrollgruppe der Einfluss der Methode analysiert werden kann:

- Eigenes Bewusstsein für vorliegende Marktunsicherheiten
- Wahrgenommenes Bewusstsein der Teamkolleginnen und -kollegen für vorliegende Marktunsicherheiten
- Handlungsbedarf zu validieren, um Marktunsicherheiten zu reduzieren

Um Rückschlüsse hinsichtlich der Validität der Bewertung der messbaren Erfolgsfaktoren ziehen zu können, bewerten die Studierenden diese sowohl **quantitativ** vor und nach der Methodendurchführung als auch **qualitativ** in Bezug auf die Veränderung der Größe nach der Methodendurchführung. Hinsichtlich der quantitativen

⁹⁵ Plattform zur digitalen Zusammenarbeit (vgl. <https://app.conceptboard.com>).

den mit der Methodendurchführung einhergehenden wahrgenommenen Aufwand, den wahrgenommenen Nutzen und das zugehörige Verhältnis. Es kann festgestellt werden, dass ein Großteil der Probanden den Nutzen als hoch bis sehr hoch wahrnimmt, wohingegen der Aufwand mehrheitlich als gering eingeschätzt wird. Auch das Aufwand-Nutzen-Verhältnis wird positiv wahrgenommen. Ferner geht aus den Ergebnissen hervor, dass die befragten Studierenden mit den Ergebnissen der Methodendurchführung im Hinblick auf das weitere Entwicklungsprojekt zufrieden sind und insbesondere die Methode im Hinblick auf die Quantität der gefundenen Zielsystemelemente als positiv einschätzen.

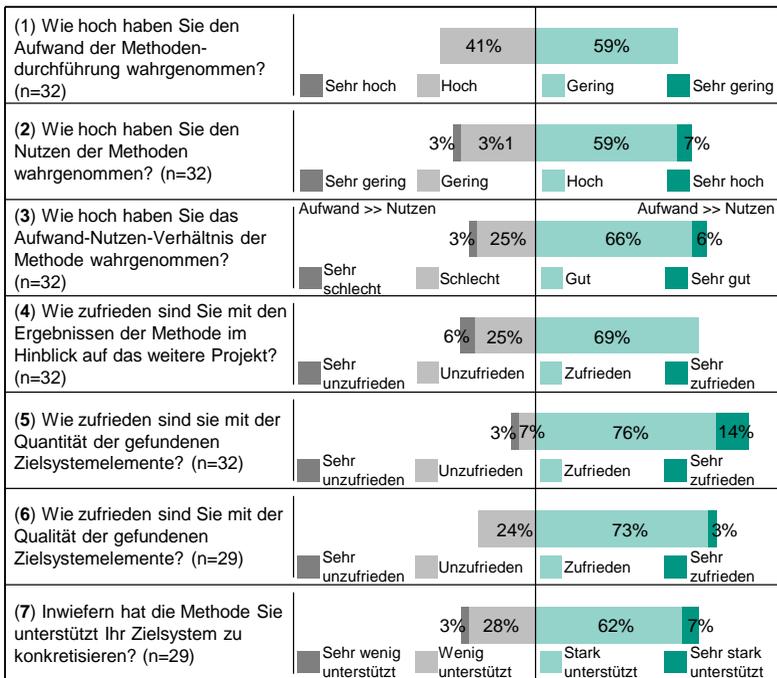


Abbildung 6.4: Ergebnisse Anwendungsevaluation im Rahmen der Fallstudie A

Hinsichtlich der Erfolgsevaluation wurde im Rahmen der *Deskriptiven Studie 1* die „Vollständigkeit“ des initialen Zielsystems aus Kunden- und Anwendersicht sowie

die „Sicherheit“, dass das durch das initiale Zielsystem beschriebene Produkt die Bedürfnisse von Kunden und Anwendern erfüllt, als messbare Erfolgsfaktoren ermittelt. Die Sicherheit, ob das Produkt die Bedürfnisse von Kunden und Anwendern erfüllt, bietet dabei eine direkte Implikation hinsichtlich der zentralen Größe der Arbeit, die vorliegende Marktunsicherheit. Bezüglich der Vollständigkeit, die eine Implikation hinsichtlich der vorliegenden Definitionslücken ermöglicht, ist anzumerken, dass im Fragebogen explizit vermerkt wurde, dass diese Größe im Rahmen der Bewertung nicht als absolut zu erachten ist, da ein Zielsystem erst am Ende der Produktentwicklung vollständig ist, sondern vielmehr in Relation zu der Ausgangssituation vor der Methodendurchführung im Verhältnis zu bisherigen Erfahrungen in Produktentwicklungsprojekten und mit Fokus auf die Beschreibung des zu entwickelnden Produkts aus Kunden- und Anwendersicht.

In Abbildung 6.5 sind die Ergebnisse der Erfolgsevaluation hinsichtlich des messbaren Erfolgsfaktors **Vollständigkeit des initialen Zielsystems** skizziert. Dabei sind sowohl die Ergebnisse der **quantitativen** Bewertung des Grads der Vollständigkeit vor und nach der Methodendurchführung als auch die **qualitative** Bewertung der Veränderung der Vollständigkeit durch die Methodendurchführung abgebildet.

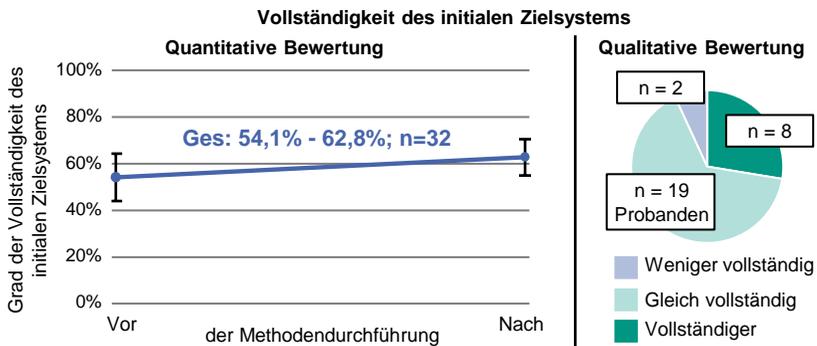


Abbildung 6.5: Veränderung der Vollständigkeit des initialen Zielsystems; links: quantitative Bewertung des Grads; rechts: qualitative Bewertung der Veränderung

Durch die **quantitative Bewertung** wird ersichtlich, dass aus Sicht der Probanden die Vollständigkeit des Zielsystems von durchschnittlich 54,1 % auf 62,8 % zugenommen hat. Es lässt sich konstatieren, dass bei sämtlichen Teams die Vollständigkeit nach der Methodendurchführung höher wahrgenommen wurde, lediglich bei

Implikation möglich, dass die **Marktunsicherheit**, vorliegend in Wissens- und Definitionslücken, durch die Methodendurchführung reduziert werden konnte.

6.1.2.2 Initiales Zielsystem bewerten

Im Nachgang werden die gefundenen Zielsystemelemente in Workshops mit den Teams der Testgruppe (Team 2, 5 und 7) hinsichtlich der vorliegenden Marktunsicherheit entsprechend der in Abschnitt 5.3 vorgestellten Methode bewertet. Dazu wird die bereits eingeführte Softwareumgebung verwendet. In Abbildung 6.7 ist die Visualisierung der Ergebnisse der Bewertung dargestellt, wobei jeweils der Reifegrad auf der horizontalen und die Auswirkung auf der vertikalen Achse abgebildet ist. Die Punkte repräsentieren die verschiedenen Zielsystemelemente, wobei die Farbe der Punkte dem Härtegrad entspricht.

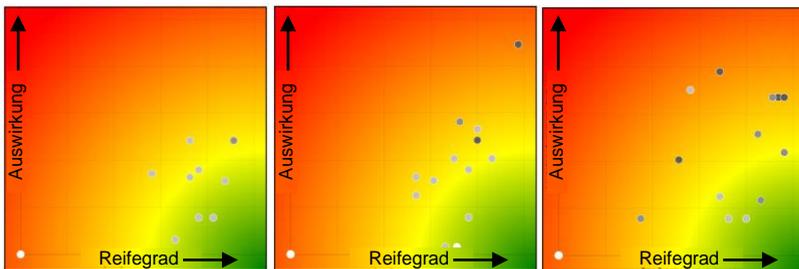


Abbildung 6.7: Darstellung der Auswertung der Bewertung des initialen Zielsystems der Teams der Testgruppe (links: Team 2; Mitte: Team 5; rechts: Team 7). Graue Punkte repräsentieren bewertete Zielsystemelemente, wobei die Farbe wiederum den Härtegrad widerspiegelt.

Die Ergebnisse der Anwendungsevaluation (vgl. Abbildung 6.8) zeigen, dass der Nutzen als *sehr hoch* eingeschätzt wird und auch das Aufwand-Nutzen-Verhältnis als *sehr gut* wahrgenommen wird. Allerdings wird der Aufwand selbst als *hoch* eingeschätzt. Weiter geht aus den Ergebnissen hervor, dass die befragten Studierenden mit den Ergebnissen der Methodendurchführung im Hinblick auf das weitere Entwicklungsprojekt zufrieden sind. Dabei stufen die Studierenden insbesondere die Sicherheit, alle kritischen und auch die richtigen kritischen Zielsystemelemente identifiziert zu haben, als hoch ein. Folglich wird die Methode hinsichtlich ihrer Anwendbarkeit durchweg positiv bewertet.

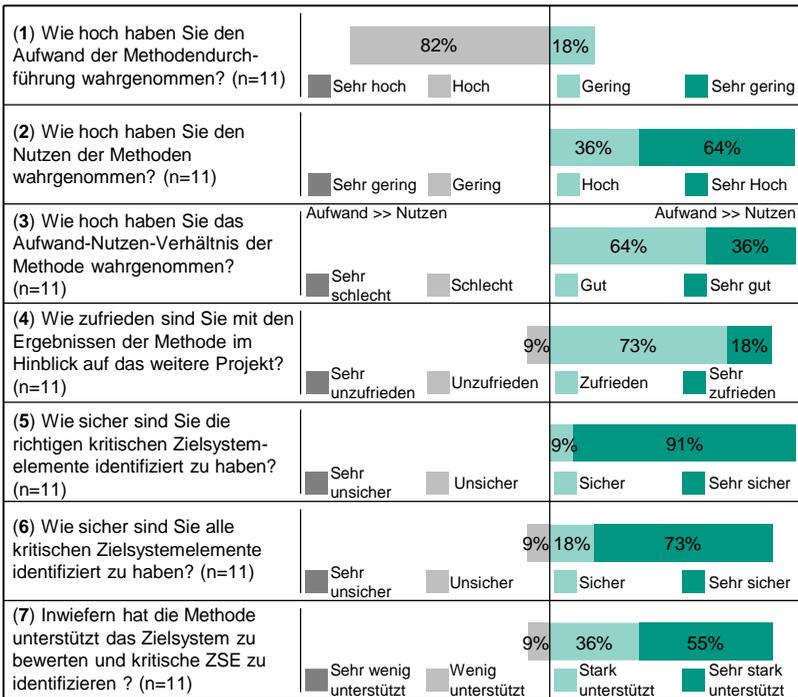


Abbildung 6.8: Ergebnisse Anwendungsevaluation im Rahmen der Fallstudie A

Hinsichtlich der Erfolgsevaluation wird ermittelt, welche Unterschiede sich hinsichtlich der messbaren Erfolgsfaktoren – eigenes Bewusstsein für Marktunsicherheiten, Bewusstsein der Teamkolleginnen und -kollegen für Marktunsicherheiten und den Handlungsbedarf zu validieren und damit Marktunsicherheiten zu reduzieren – zwischen der Test- und der Kontrollgruppe ergeben. Dazu bewerten die Probanden der Test- und Kontrollgruppe sowohl vor als auch nach der Methodendurchführung die Größen quantitativ. Zusätzlich werden die Probanden in der Befragung nach der Methodendurchführung gebeten, die Veränderung qualitativ zu bewerten.

Das Ergebnis der **quantitativen** und **qualitativen** Bewertung hinsichtlich des messbaren Erfolgsfaktors **Eigenes Bewusstsein für Marktunsicherheiten** ist in Abbildung 6.9 dargestellt.

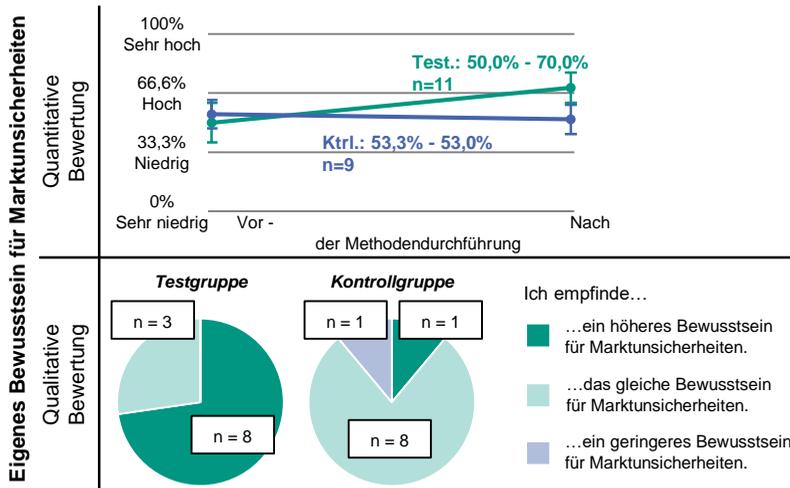


Abbildung 6.9: Links: quantitative Bewertung des eigenen Bewusstseins für die vorliegenden Marktunsicherheiten vor und nach der Methodendurchführung; rechts: qualitative Bewertung der Veränderung des eigenen Bewusstseins

Durch die **quantitative Bewertung** wird deutlich, dass das Bewusstsein für vorliegende Marktunsicherheiten der Testgruppe von 50,0 % vor der Methodendurchführung auf 70,0 % angestiegen ist, während bei der Kontrollgruppe, die nicht mit der Methode gearbeitet hat, im gleichen Zeitraum keine derartige Veränderung beobachtbar ist. Vielmehr nimmt der durchschnittlich Wert sogar ab (von 53,3 % auf 50,0 %). Diese Abnahme ist jedoch marginal und auf Messungenauigkeiten zurückzuführen. Von Bedeutung für die Aussagekraft der ermittelten Daten ist, dass die Ausgangswerte von Test- und Kontrollgruppe äußerst nah beieinanderliegen. Dies zeigt, dass die verschiedenen Teams vor der Methodendurchführung eine vergleichbare Ausgangssituation vorliegen hatten und lässt damit eine Aussage hinsichtlich der Vergleichbarkeit zu. Dies wird auch bei den anderen Zielgrößen deutlich. Auch hier sind die Ausgangswerte vor der Methodendurchführung nah beieinander (vgl. Abbildung 6.10 & Abbildung 6.11).

Die dargestellte Tendenz hinsichtlich der Veränderung des Bewusstseins der Probanden für die vorliegenden Marktunsicherheiten wird auch durch die **qualitative Bewertung** deutlich. So geben acht der Probanden der Testgruppe (72,7 %) an,

nach der Methodendurchführung ein höheres Bewusstsein für die vorliegenden Marktunsicherheiten zu empfinden, wohingegen aus der Kontrollgruppe lediglich einer der Befragten (10,0 %) ein höheres Bewusstsein für Marktunsicherheiten empfindet. Die Mehrzahl der Probanden (n=8, 80 %) verspürt das gleiche Bewusstsein für die vorliegenden Marktunsicherheiten. Folglich wird die Tendenz der quantitativen Bewertung bestätigt, dass die Probanden der Testgruppe sich nach der Methodendurchführung stärker bewusst sind, dass Marktunsicherheiten vorliegen, während bei der Kontrollgruppe keine Veränderung beobachtbar ist.

Ein ähnliches Bild ergibt sich in Bezug auf den messbaren Erfolgsfaktor **Bewusstsein der Teamkolleginnen und -kollegen hinsichtlich der vorliegenden Unsicherheiten** (vgl. Abbildung 6.10). Erneut sind sowohl die Ergebnisse der **quantitativen** Bewertung als auch die **qualitative** Bewertung der Veränderung abgebildet.

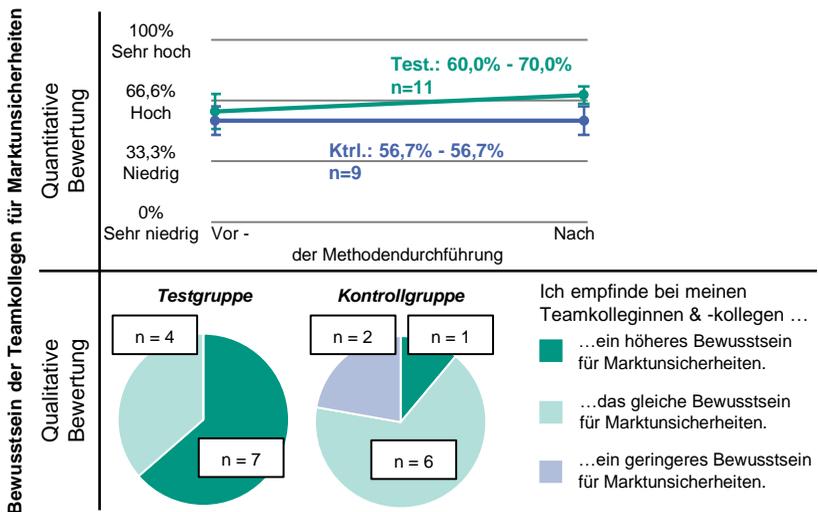


Abbildung 6.10: Links: quantitative Bewertung des Bewusstseins der Teamkolleginnen und -kollegen für die vorliegenden Marktunsicherheiten; rechts: qualitative Bewertung der Veränderung des Bewusstseins der Teamkolleginnen und -kollegen

Bei den Probanden der Testgruppe ist ein Anstieg der Messgröße – Bewusstsein der Teamkolleginnen und -kollegen – von vor der Methodenaufwendung zu dem

Zeitpunkt danach zu erkennen, während bei der Kontrollgruppe im gleichen Zeitraum keine Veränderung ablesbar ist. Die qualitative Bewertung der Veränderung dieser Messgröße bestätigt diese Tendenz. Im Rahmen ebendieser geben sieben Probanden der Testgruppe (63,6 %) nach der Methodendurchführung an, bei ihren Teamkolleginnen und -kollegen ein höheres Bewusstsein für die vorliegenden Marktunsicherheiten zu empfinden, wohingegen dies in der Kontrollgruppe lediglich einer der Probanden (11,1 %) verspürt und die Mehrzahl der Probanden der Kontrollgruppe (n=6, 66,7 %) wahrnimmt, dass die Teamkolleginnen und -kollegen das gleiche Bewusstsein für die vorliegenden Marktunsicherheiten aufweisen. Folglich zeigen die Ergebnisse, dass die Probanden der Testgruppe einen Anstieg des Bewusstseins für die vorliegenden Marktunsicherheiten bei ihren Teamkollegen wahrnehmen, während bei der Kontrollgruppe keine Veränderung beobachtbar ist.

Abschließend sind die Ergebnisse hinsichtlich des messbaren Erfolgsfaktors **Handlungsbedarf zu validieren** dargestellt (vgl. Abbildung 6.11). Erneut sind sowohl die Ergebnisse der **quantitativen** als auch der **qualitativen** Bewertung abgebildet.

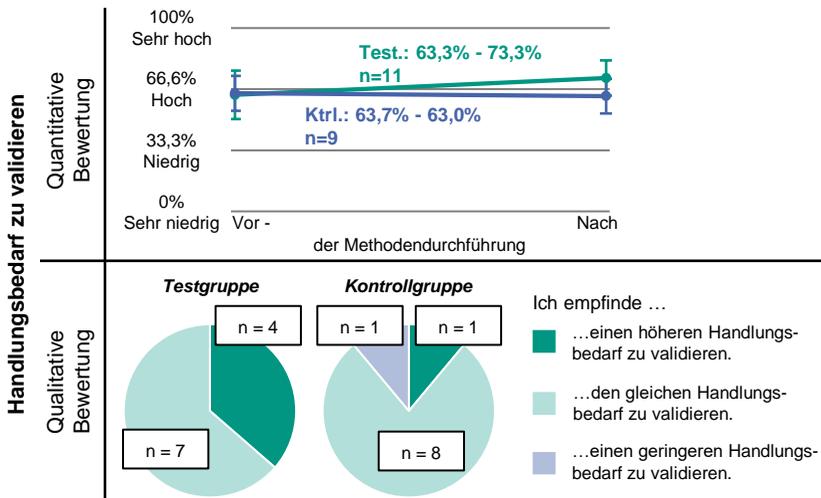


Abbildung 6.11: Links: quantitative Bewertung des Handlungsbedarfs zu validieren; rechts: qualitative Bewertung der Veränderung des Handlungsbedarfs

Bei der qualitativen Bewertung ist bei den Probanden der Testgruppe durchschnittlich ein Anstieg zu erkennen, wohingegen bei der Kontrollgruppe im gleichen Beobachtungszeitraum lediglich eine kleine Veränderung zu erkennen ist. Erneut bestätigt sich diese Tendenz im Rahmen der qualitativen Bewertung der Veränderung hinsichtlich dieses Faktors, wobei vier der Probanden der Testgruppe (36,4 %) angeben, dass sie nach der Methodendurchführung einen höheren Handlungsbedarf zu validieren empfinden, wohingegen lediglich ein Proband der Kontrollgruppe (11,1 %) einen erhöhten Handlungsbedarf hinsichtlich Aktivitäten der Validierung verspürt. Der Großteil (n=7 bzw. 77,8 %) der Probanden der Kontrollgruppe verspürt hingegen den gleichen Handlungsbedarf. Folglich kann abgeleitet werden, dass durch die Methodendurchführung der Handlungsbedarf zu validieren der Testgruppe im Verhältnis zur Kontrollgruppe gesteigert werden konnte.

6.1.3 Zwischenfazit

Durch die Evaluation, die im Rahmen der Fallstudie A im studentischen Produktentwicklungsprojekt durchgeführt wurde, konnte der Beitrag der beiden *Methoden Initiales Zielsystem erweitern* und *Initiales Zielsystem bewerten* ermittelt werden. Hinsichtlich der *Methode Initiales Zielsystem erweitern* konnte gezeigt werden, dass die Teams im Durchschnitt ca. 12 neue Zielsystemelemente finden konnten. Im Rahmen der Anwendungsevaluation wurde die Methode durch die Probanden durchweg positiv hinsichtlich der zuvor identifizierten Schlüsselfaktoren – beispielsweise Nutzen-Aufwand-Verhältnis oder Qualität und Quantität der gefundenen Zielsystemelemente – beurteilt. Ferner konnte im Zuge der Erfolgsevaluation gezeigt werden, dass durch die Methodendurchführung der Grad der Vollständigkeit des initialen Zielsystems aus Sicht der Probanden zugenommen hat und folglich eine Reduktion der vorliegenden Definitionslücken gefolgert werden kann. Des Weiteren kann im gleichen Zeitraum ein Anstieg der von den Probanden subjektiv wahrgenommenen Sicherheit, dass das richtige Produkt entwickelt wird, festgestellt werden. Daraus lässt sich folgern, dass der Grad der vorliegenden Marktunsicherheit durch die Methodendurchführung insgesamt reduziert werden konnte.

Hinsichtlich der *Methode Initiales Zielsystem bewerten* ergab die Anwendungsevaluation ebenfalls eine vorwiegend positive Bewertung sämtlicher Schlüsselfaktoren (Aufwand-Nutzen-Verhältnis oder Zuverlässigkeit der Identifikation kritischer Zielsystemelemente). Im Rahmen der Erfolgsevaluation konnte sowohl in einer qualitativen als auch einer quantitativen Analyse eine positive Veränderung der Zielgrößen Bewusstsein hinsichtlich vorliegender Marktunsicherheiten – in einer Selbst- und Fremdeinschätzung – und Handlungsbedarf zu validieren der Testgruppe im Verhältnis zur Ausgangssituation und im Vergleich zu der Kontrollgruppe aufgezeigt

werden. So stieg das Bewusstsein für Marktunsicherheiten im Durchschnitt bei Probanden der Testgruppe durch die Methodendurchführung an, während es bei den Kontrollgruppen nahezu konstant blieb.

Einschränkungen dieser Studie beziehen sich primär darauf, dass eine Selbsteinschätzung hinsichtlich der vorliegenden Sicherheit, dass das richtige Produkt entwickelt wird, nur bedingt aussagekräftig ist, da den studentischen Produktentwickelnden Expertise hinsichtlich der Bedürfnisse der Kunden fehlt. Infolgedessen stand im Rahmen dieser Fallstudie A insbesondere eine Selbsteinschätzung des Bewusstseins hinsichtlich Marktunsicherheiten im Fokus der Betrachtung. In der nachfolgenden Fallstudie B steht nun primär die Bewertung der vor und nach den Methodendurchführungen vorliegenden Marktunsicherheit im Fokus, wobei diese durch Experten des Unternehmens durchgeführt wird.

6.2 Fallstudie B: Entwicklung eines Prüfgeräts zur Überprüfung von Brandmeldern im Feld

Im Rahmen der Fallstudie B wird eine Evaluation der vier zuvor vorgestellten Methoden im Sinne einer Anwendungs- und einer Erfolgevaluation durchgeführt, wobei der Fokus der Betrachtung auf der Zielgröße vorliegende Marktunsicherheit respektive Einfluss der Methoden auf diese Größe ausgerichtet ist.

Dazu wird Fallstudie B im Zuge eines realen Entwicklungsprojekts bei Hekatron Brandschutz durchgeführt, in dessen Rahmen eine neue Generation Prüfgerät entwickelt wird. Mit diesem Prüfgerät lässt sich die Funktionalität von Brandmeldern im Feld überprüfen. Dabei basiert die eigentliche Funktionsüberprüfung auf einem zugehörigen Prüfgas, mit dessen Hilfe sowohl die Rauchsensorik als auch die Temperatursensorik des Brandmelders überprüft werden kann. Dazu muss von dem Anwender entschieden werden, welche Sensorik mit dem Prüfgasstoß beaufschlagt werden soll und eine entsprechende Einstellung an der Rändelschraube an der Rückseite des Geräts vorgenommen werden. Der eigentliche Prüfgasstoß wird dadurch ausgelöst, dass das Prüfgerät bzw. der Metallbügel gegen den Brandmelder gedrückt wird und somit die Verlängerung dessen auf die Prüfgasflasche drückt. Die Rückmeldung hinsichtlich der Funktionsfähigkeit der Sensorik des geprüften Brandmelders erhält der Anwender durch ein Aufblinken der in den Melder integrierten LED. Zusätzlich kann der Anwender an der Zentrale des Brandmeldesystems tiefergehende Informationen hinsichtlich der Prüfung auslesen.

Die bisher im Markt verfügbare Produktgeneration G_{n-1} , ist in Abbildung 6.12 illustriert.

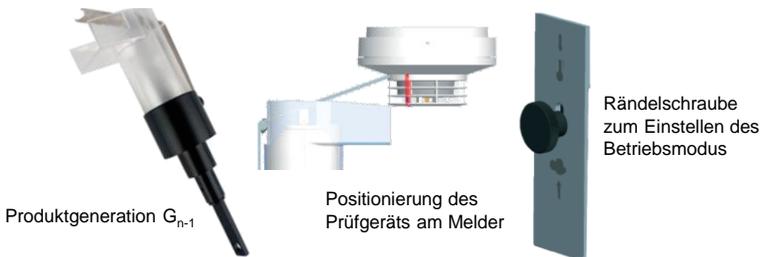


Abbildung 6.12: Von links: Produktgeneration G_{n-1} des zu entwickelnden Prüfgeräts; Positionierung und Auslösung am Melder; Rändelschraube, um zwischen Wärme- und Rauchprüfung einzustellen

Am Ausgangspunkt der Studie befindet sich das Entwicklungsprojekt in der Lastenhefterstellung, wobei einige Randbedingungen, wie die, dass das Prüfgerät weiterhin mit Prüfgas funktioniert, bereits gesetzt sind. Insgesamt soll ein Prüfgerät entwickelt werden, das für Anwender eine komfortable, schnelle und gleichzeitig zuverlässige Prüfung ermöglicht. Im Rahmen der Fallstudie B werden dazu sämtliche in Kapitel 5 vorgestellten Methoden konsekutiv angewendet. Dabei wird die folgende Forschungsfrage beantwortet:

3.2 Welchen Beitrag leisten die Methoden der initialen Zielsystementwicklung hinsichtlich der subjektiv eingeschätzten vorliegenden Marktunsicherheit unter den Rahmenbedingungen der Untersuchungsumgebung Hekatron Brandschutz?

6.2.1 Studiendesign

Um den Einfluss der vier Methoden zu analysieren, werden diese in einem realen Entwicklungsprojekt von Hekatron Brandschutz angewendet. Der Autor der vorliegenden Arbeit ist als Projektleiter in dem entsprechenden Entwicklungsprojekt tätig. Somit führt er die Methoden vorrangig selbst durch, oder leitet als Moderator die zugehörigen Produktentwickelnden – Produktmanager, Konstruktionsingenieure etc. – an. Dabei wird jeweils eine Anwendungs- und eine Erfolgsevaluation durchgeführt. Im Rahmen der Anwendungsevaluation wird der Erfüllungsgrad der Schlüsselfaktoren durch die Methodenanwender oder durch Fachexperten des anlagentechnischen Brandschutzes, die nicht an der Methodendurchführung beteiligt sind,

bewertet. Im Rahmen der Erfolgsevaluation bewerten ausschließlich diese Experten, da sie über die größte Expertise hinsichtlich der Marktbedürfnisse verfügen. Die Experten setzen sich aus zwei Geschäftsbereichsleitern, sieben Projektleitern aus Entwicklung oder Produktmanagement, drei Fachgruppenleitern und drei Entwicklern zusammen.

Zur Evaluation der *Methode Initiales Zielsystem ableiten* wird durch das Projektteam zunächst eine Analyse der vorliegenden Produktgeneration G_{n-1} vorgenommen und diese durch zehn kundenerlebbare Produkteigenschaften beschrieben. Im Nachgang findet die IST-Analyse durch eine fragebogenbasierte Befragung von 57 Kunden und Anwendern statt. Auf Basis der Ergebnisse dieser Befragung werden fünf zu differenzierende Produkteigenschaften ausgewählt. Für diese werden wiederum im Rahmen eines Workshops mit zehn Beschäftigten des technischen Kundendienstes geeignete Referenzsystemelemente ausgewählt, die die Zufriedenheit der Anwender steigern. Da der Autor der vorliegenden Arbeit Methodenanwender ist, findet keine Anwendungsevaluation statt. Im Rahmen der Erfolgsevaluation findet eine Bewertung der folgenden messbaren Erfolgsfaktoren statt:

- Sicherheit, dass aus Kunden- und Anwendersicht die richtigen Differenzierungsmerkmale ausgewählt wurden
- Sicherheit, dass aus Kunden- und Anwendersicht die richtigen Referenzsystemelemente ausgewählt wurden
- Insgesamt vorliegende Marktunsicherheit

Zur Evaluation der *Methode Initiales Zielsystem erweitern* werden auf Basis der identifizierten Referenzsystemelemente und zugehörigen Zielsysteme Personas und die relevanten zu betrachtenden Use-Cases identifiziert. Darauf aufbauend wird ein interdisziplinärer Workshop, im Rahmen dessen Zielsystemelemente aus Sicht der Personas für die einzelnen Use-Cases in Form von User-Stories erhoben werden, durchgeführt. Aufgrund der zu diesem Zeitpunkt vorherrschenden Covid-19-Pandemie und der damit verbundenen Regierungsbeschlüsse konnten keine Kunden und Anwender am Workshop teilnehmen. Demzufolge nahmen alternativ Mitarbeitende des Vertriebs und des technischen Kundendienstes teil. Im Rahmen der Anwendungsevaluation bewerten die vier Workshopteilnehmenden im Anschluss an diesen die Erfüllung der Schlüsselfaktoren *Nutzen der Methode*, *Qualität der Ergebnisse der Methode* mit Fokus der *Kunden- und Anwenderintegration*. Im Rahmen der Erfolgsevaluation bewerten die Experten die messbaren Erfolgsfaktoren:

- Grad der Vollständigkeit des initialen Zielsystems
- Insgesamt vorliegende Marktunsicherheit

Zur Evaluation der *Methode Initiales Zielsystem bewerten* werden die erhobenen Zielsystemelemente hinsichtlich der Dimensionen Reifegrad, Härtegrad und Auswirkung bewertet. Die Bewertung erfolgt durch das Entwicklungskernteam in dem entwickelten Softwaretool. Zu diesem Zweck werden im Vorfeld sämtliche Zielsystemelemente in das Tool übertragen und während des Workshops gemeinsam durch die Teilnehmenden bewertet. Zur Anwendungsevaluation werden im Vorfeld sämtliche Zielsystemelemente sowohl durch die Methodenanwender als auch durch Experten des anlagentechnischen Brandschutzes analysiert und die aus ihrer Sicht „kritischen“ Zielsystemelemente entsprechend markiert. Im Nachgang wird ein Abgleich zwischen den durch die Anwender, die Experten und die mit der Methode identifizierten Zielsystemelemente durchgeführt. Somit kann eine quantitative Evaluation hinsichtlich des Schlüsselfaktors *Zuverlässigkeit – quantitativ und qualitativ* – der Identifikation kritischer Zielsystemelemente erfolgen. Im Zuge der Erfolgsevaluation erfolgt eine Bewertung der messbaren Erfolgsfaktoren:

- Handlungsbedarf zur Validierung
- Insgesamt vorliegende Marktunsicherheit

Zur Evaluation der *Methode Initiales Zielsystem validieren* werden für drei identifizierte kritische Zielsystemelemente zwei verschiedene MVPs ausgewählt und aufgebaut. Diese werden im Nachgang durch vier Gruppen – bestehend aus einem Kunden oder Vertriebsmitarbeitende und jeweils ein bis drei Technikern (Produktanwendern) – getestet. Dabei können die Techniker das MVP in seinem gewohnten Produktumfeld testen. Zur Bewertung des MVPs füllen die Probanden jeweils einen Fragebogen aus. Da der Autor der vorliegenden Arbeit der Methodenanwender ist, findet keine Anwendungsevaluation statt. Im Rahmen der Erfolgsevaluation bewerten die Experten die messbaren Erfolgsfaktoren:

- Vorliegende Marktunsicherheit der drei ausgewählten Zielsystemelemente
- Insgesamt vorliegende Marktunsicherheit

Um Rückschlüsse hinsichtlich der Validität der Bewertung der messbaren Erfolgsfaktoren ziehen zu können, bewerten die Experten diese sowohl **quantitativ** vor und nach der Methodendurchführung als auch **qualitativ** die Veränderung der Größe nach der Methodendurchführung. Hinsichtlich der quantitativen Bewertung ist zu konstatieren, dass hierbei weniger die absolute Bewertung von Interesse ist, sondern vielmehr die Veränderung der Einschätzung.

6.2.2 Ergebnisse

Nachfolgend werden die Ergebnisse der im Rahmen der Fallstudie B durchgeführten Evaluation für die vier Methoden dargestellt.

6.2.2.1 Initiales Zielsystem ableiten⁹⁶

Im Rahmen einer Umfrage mit 57 Kunden und Anwendern werden die Produktgeneration G_{n-1} als Referenzsystemelement hinsichtlich der zuvor identifizierten erleb-
baren Produkteigenschaften gemäß der eingeführten Systematik bewertet. Die Er-
gebnisse werden für jede der analysierten Eigenschaften entsprechend der Kano-
Systematik dargestellt. Um tiefergehende Informationen zu erhalten, werden in die
Umfrage zusätzlich persönliche Daten wie beispielsweise Beruf, Regelmäßigkeit
des Kontakts mit dem Produkt etc. abgefragt. Somit können im Rahmen der Aus-
wertung zusätzlich Differenzierungen in Bezug auf Attribute wie Zielgruppe (Kunde,
Anwender) oder Erfahrung mit dem Produkt vorgenommen werden.

Um die Vergleichbarkeit zwischen den einzelnen Produkteigenschaften gegenüber
dem Methodenanwender zu erhöhen, werden für jede Produkteigenschaft der Funk-
tionswert der Zufriedenheit $f(ZF)$ und der Erwartungshaltung $f(EWH)$ ermittelt und
entsprechend dargestellt (vgl. Abbildung 6.13).

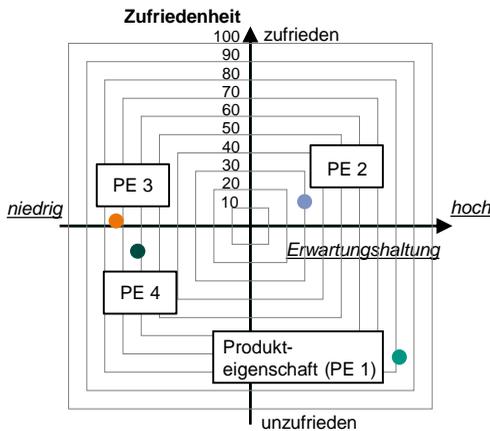


Abbildung 6.13: Visualisierung der Ergebnisse der IST-Analyse für vier verschiedene Produkteigenschaften (PE) ermöglicht die Identifikation nicht erfüllter Basiseigenschaften (PE 1) und Leistungs- oder Begeisterungseigenschaften (PE 3 & 4)

⁹⁶ Die in Abschnitt 6.2.2.1 dargestellten Ergebnisse sind teilweise in der Publikation (Albers, Zimmermann, Marthaler et al., 2021) veröffentlicht worden.

In Bezug auf Produkteigenschaft 1 ist erkennbar, dass die Zufriedenheit der Kunden und Anwender nicht gewährleistet ist. Gleichzeitig besteht eine hohe Erwartungshaltung an diese Produkteigenschaft. Hinsichtlich Produkteigenschaft 2 befinden sich sowohl die Zufriedenheit als auch die Erwartungshaltung in einem indifferenten Bereich. Die Charakteristika der Bewertung der Produkteigenschaften 3 und 4 ähneln sich dahingehend, dass die Kunden und Anwender eine sehr geringe Erwartungshaltung an diese Eigenschaften haben und gleichzeitig die Zufriedenheit eher neutral bis gering ist. Entsprechend diesen Diagrammen werden im Kernteam des Entwicklungsprojekts nachfolgend fünf zu differenzierende Produkteigenschaften ausgewählt. Dabei liegt der Fokus einerseits auf nicht erfüllten Basiseigenschaften, wie beispielsweise Produkteigenschaft 1 und andererseits auf Produkteigenschaften, die Potential aufweisen, eine Begeisterungseigenschaft zu sein (vgl. Produkteigenschaft 3 und 4). Diese kennzeichnen sich durch eine geringe Erwartungshaltung und eine geringe bis neutrale Zufriedenheit der Kunden und Anwender.

Gemäß den ausgewählten Differenzierungseigenschaften werden nachfolgend Referenzsystemelemente zur Realisierung der entsprechenden Eigenschaften gesucht. Eine Darstellung verschiedener Referenzsystemelemente für verschiedene Produkteigenschaften ist in Abbildung 6.14 dargestellt.

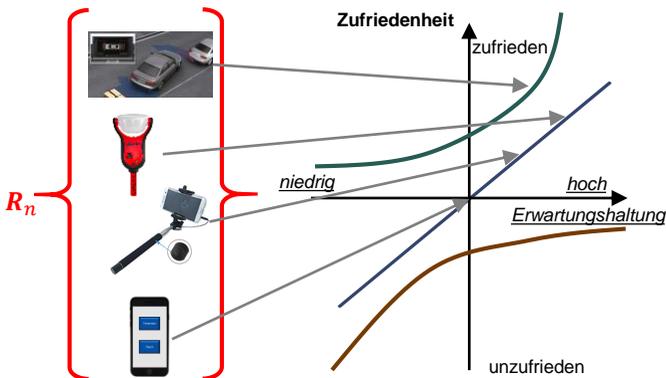


Abbildung 6.14: Referenzsystem mit zugehörigen Elementen für eine Produkteigenschaft, wobei die Pfeile die Bewertung durch Kunden- und Anwenderbefragung andeuten und somit eine Auswahl unter Berücksichtigung der zu erzielenden Zufriedenheit ermöglichen

Diese werden in einem Workshop mit Mitarbeitenden des Werkkundendienstes bewertet. Durch diese Bewertung können je Produkteigenschaft Referenzelemente ausgewählt werden. Bei der Auswahl wird neben der Bewertung durch den Werkkundendienst zusätzlich die Art der notwendigen Variation berücksichtigt, um den Neuentwicklungsanteil zu steuern. Darüber hinaus werden für manche Produkteigenschaften teilweise mehrere Referenzelemente ausgewählt, die kombinierbar sind.

Im Rahmen der Erfolgsevaluation bewerten die Experten des anlagentechnischen Brandschutzes in einem ersten Schritt **quantitativ** die **Sicherheit**, dass die aus Kunden- und Anwendersicht **richtigen zu differenzierenden erlebbaren Produkteigenschaften** ausgewählt wurden. Zusätzlich wird die entsprechende Veränderung **qualitativ** bewertet. Die Ergebnisse sind in Abbildung 6.15 dargestellt.

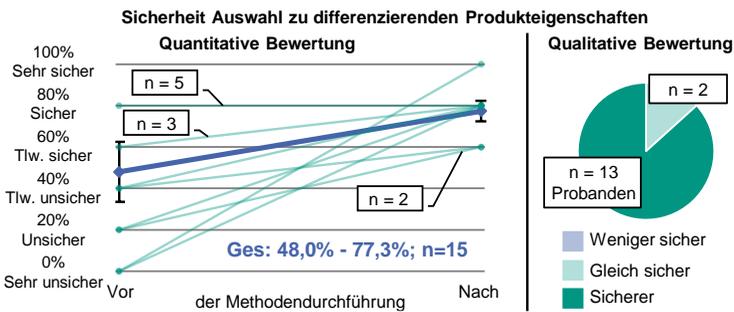


Abbildung 6.15: Links: quantitative Bewertung der subjektiv wahrgenommenen Sicherheit der Auswahl der zu differenzierenden Produkteigenschaften (blaue Kurve entspricht dem Mittelwert und grüne Kurven den Einzelantworten); rechts: qualitative Bewertung der Veränderung subjektiv wahrgenommener Sicherheit (Albers, Zimmermann et al., 2021, S. 2617)

Im Rahmen der quantitativen Evaluation dieses messbaren Erfolgsfaktors steigt dieser nach Ansicht der Probanden von 48,0 % vor der Methodendurchführung auf 77,3 % nach der Methodendurchführung. Fünf der befragten Probanden nehmen vor und nach der Methodendurchführung die gleiche Sicherheit (80 %) wahr, dass die richtigen zu differenzierenden erlebbaren Produkteigenschaften ausgewählt wurden. Alle anderen Probanden verspüren nach der Methodendurchführung eine höhere Sicherheit. Dieses Ergebnis wird durch die zusätzlich durchgeführte qualita-

tive Bewertung der Veränderung hinsichtlich dieses messbaren Erfolgsfaktors bestätigt. Hierbei geben 13 der 15 befragten Produktentwickelnden an, dass sie nach der Methodendurchführung eine höhere Sicherheit empfinden, dass die aus Kunden- und Anwendersicht richtigen zu differenzierenden Produkteigenschaften ausgewählt wurden.

Ein ähnliches Bild ergibt sich hinsichtlich der Bewertung des messbaren Erfolgsfaktors **Sicherheit**, dass aus Kunden- und Anwendersicht die **richtige Ausprägung der zu differenzierenden Produkteigenschaften** bzw. die **richtigen Referenzsystemelemente** ausgewählt wurden. Das entsprechende Ergebnis der **quantitativen** und **qualitativen** Bewertung dieser Größe ist in Abbildung 6.16 dargestellt.

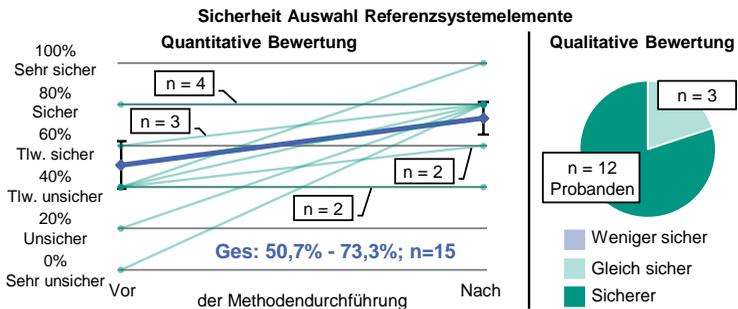


Abbildung 6.16: Links: quantitative Bewertung der subjektiv wahrgenommenen Sicherheit der Auswahl der Referenzsystemelemente (blaue Kurve entspricht dem Mittelwert und grüne Kurven den Einzelantworten); rechts: qualitative Bewertung der Veränderung subjektiv wahrgenommener Sicherheit (Albers, Zimmermann et al., 2021, S. 2617)

Die Ergebnisse der quantitativen Evaluation spiegeln wider, dass aus Sicht der Probanden die Sicherheit, dass die aus Kunden- und Anwendersicht richtigen Referenzsystemelemente ausgewählt wurden, durch die Methodendurchführung zugekommen hat. So steigt der Wert von anfänglich 50,7 % auf 73,3 %. Dabei bewerten vier der befragten Probanden sowohl vor als auch nach der Methodendurchführung die Sicherheit mit 80 % und zwei der befragten Experten bewerten die Sicherheit vor und nach der Methodendurchführung jeweils mit 40 %. Alle anderen Probanden empfinden nach der Methodendurchführung eine höhere Sicherheit. Diese Tendenz kann erneut durch die qualitative Bewertung der Probanden hinsichtlich der Verän-

derung dieses Erfolgsfaktors bestätigt werden. Hierbei bewerten 12 der 15 befragten Experten, dass sie nach der Methodendurchführung sicherer als vor dieser sind, dass die aus Kunden- und Anwendersicht richtigen Referenzsystemelemente ausgewählt wurden.

Die letzte Größe, die im Rahmen der Erfolgsevaluation der Methode in Fallstudie B analysiert wird, ist die allgemein vorliegende **Sicherheit**, dass das **richtige Produkt** aus Kunden- und Anwendersicht entwickelt wird. Sie bietet einen übergreifenden Indikator, um Rückschlüsse hinsichtlich der vorliegenden **Marktunsicherheit** abzuleiten. Erneut bewerten die Experten diesen messbaren Erfolgsfaktor sowohl **quantitativ** als auch **qualitativ** (vgl. Abbildung 6.17).

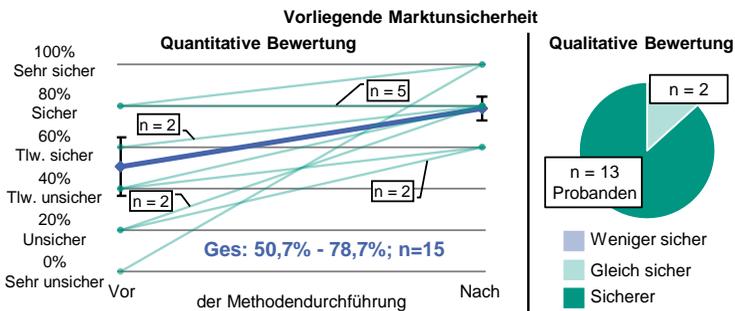


Abbildung 6.17: Links: quantitative Bewertung der vorliegenden Marktunsicherheit (blaue Kurve entspricht dem Mittelwert und grüne Kurven den Einzelantworten); rechts: qualitative Bewertung der Veränderung vorliegender Marktunsicherheit (Albers, Zimmermann et al., 2021, S. 2617)

Im Rahmen der quantitativen Bewertung ergibt sich durchschnittlich ein Anstieg der vorliegenden Sicherheit, dass das aus Kunden- und Anwendersicht richtige Produkt entwickelt wird von 50,7 % vor der Methodendurchführung auf 79,4 % nach der Methodendurchführung. Dieser Anstieg der wahrgenommenen Sicherheit bzw. die entsprechende Reduktion der wahrgenommenen vorliegenden Marktunsicherheit wird ebenfalls im Rahmen der qualitativen Bewertung sichtbar. Dabei bewerteten 13 der Probanden, dass sie nach der Methodendurchführung eine höhere Sicherheit wahrnehmen, während keiner der Probanden sich unsicher fühlt. Demnach kann gefolgert werden, dass die subjektiv wahrgenommene Sicherheit, dass das richtige Produkt entwickelt wird, übergreifend angestiegen ist bzw. eine Reduktion der vorliegenden Marktunsicherheit durch die Methodendurchführung erzielt wurde.

6.2.2.2 Initiales Zielsystem erweitern⁹⁷

Aufbauend auf den ausgewählten Referenzsystemelementen bzw. den zugehörigen rekonstruierten Zielsystemen werden nachfolgend Personas abgeleitet, die als Eingangsgröße in den im Rahmen der *Methode Initiales Zielsystem erweitern* (vgl. Abschnitt 5.2) durchgeführten Workshop dienen. In dessen Rahmen werden nach Abzug redundanter Zielsystemelemente 40 neue Anforderungen und Ziele – in Form der Satzschablone formuliert – gefunden. Abbildung 6.18 visualisiert den Zusammenhang der Referenzsystemelemente als Eingangsgrößen und den Ergebnissen des Workshops.

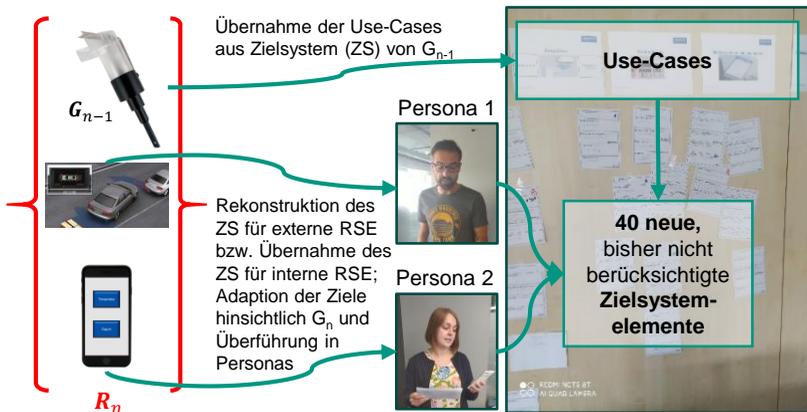


Abbildung 6.18: Zusammenhang Referenzsystem und Workshopergebnis. Auf Basis der ausgewählten Referenzsystemelemente wurden Use-Cases und Personas abgeleitet, mit deren Hilfe im Workshop 40 neue Zielsystemelemente abgeleitet wurden. Die Use-Cases konnten dabei direkt aus dem Zielsystem der Produktgeneration G_{n-1} übernommen werden; zur Erstellung der Personas wurden die Zielsysteme der externen Referenzsystemelemente (RSE) rekonstruiert, die der internen RSE übernommen und entsprechend der zu entwickelnden Produktgeneration G_n angepasst.

⁹⁷ Die in Abschnitt 6.2.2.2 dargestellten Ergebnisse sind teilweise in der Publikation (Zimmermann, Kempf, Hartmann et al., 2021) veröffentlicht worden.

Im Anschluss an den durchgeführten Workshop bewerten die Teilnehmenden diesen im Rahmen der Anwendungsevaluation hinsichtlich der identifizierten Schlüsselfaktoren. Die Ergebnisse dieser Anwendungsevaluation sind in Abbildung 6.19 dargestellt. Den wahrgenommenen Nutzen bewerten sämtliche der befragten Probanden als hoch. Weiter geht aus den Ergebnissen hervor, dass die Workshopteilnehmenden in Hinblick auf das weitere Entwicklungsprojekt größtenteils *sehr zufrieden* mit den Ergebnissen des Workshops sind. Auch die Qualität der gefundenen Zielsystemelemente wird als gut bewertet, wobei die Kenngrößen Lösungsneutralität, Verständlichkeit und Eindeutigkeit untersucht wurden.

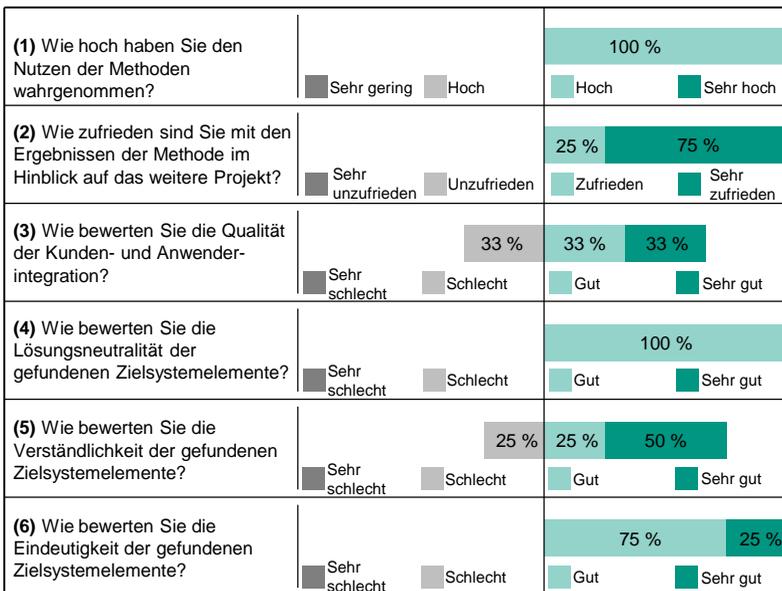


Abbildung 6.19: Ergebnisse der Anwendungsevaluation, die nach der Methodendurchführung mit den Workshopteilnehmenden durchgeführt wurde (n= 4).

Im Rahmen der Erfolgsevaluation bewerten die 15 Experten des anlagentechnischen Brandschutzes **quantitativ** den **Grad der Vollständigkeit** des initialen Zielsystems, wobei im Rahmen des Fragebogens explizit angemerkt wurde, dass bei

der Bewertung zu berücksichtigen ist, dass ein Zielsystem zu dem aktuellen Zeitpunkt der Produktentwicklung nicht vollständig sein kann und die Bewertung folglich nicht absolut durchzuführen ist. Vielmehr soll relativ bewertet werden – im Verhältnis zu vor der Methodendurchführung oder im Verhältnis zu anderen Entwicklungsprojekten. Folglich bietet die Größe Vollständigkeit einen Indikator hinsichtlich der vorliegenden Definitionslücken. Zusätzlich wird die Veränderung der Vollständigkeit **qualitativ** durch die Probanden bewertet. Das zugehörige Ergebnis der qualitativen und quantitativen Untersuchung ist Abbildung 6.20 zu entnehmen.

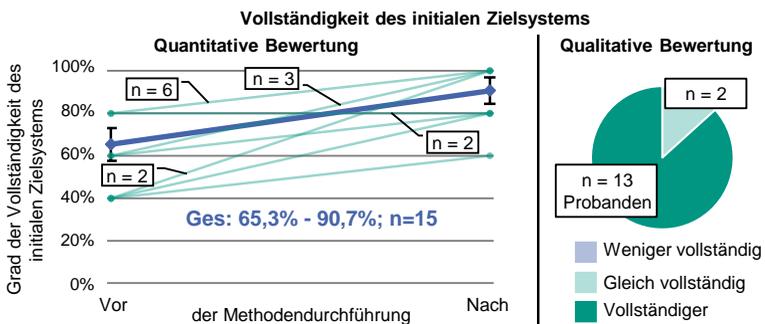


Abbildung 6.20: Links: quantitative Bewertung der Vollständigkeit des initialen Zielsystems (blaue Kurve entspricht dem Mittelwert und grüne Kurven den Einzelantworten); rechts: qualitative Bewertung der Veränderung der Vollständigkeit (Zimmermann, Kempf, Hartmann et al., 2021, S. 30)

In Bezug auf die quantitative Bewertung, ergibt sich ein Anstieg von 65,3 % auf 90,7 % vom Zeitpunkt vor der Methodendurchführung zum Zeitpunkt nach dieser. Im Rahmen der qualitativen Bewertung der Veränderung der Vollständigkeit des Zielsystems kann diese Tendenz bestätigt werden. Hierbei geben 13 der 15 befragten Probanden an, nach der Methodendurchführung das Zielsystem vollständiger als zuvor einzuschätzen. Folglich wird der Schluss möglich, dass durch die Methodendurchführung die Vollständigkeit des initialen Zielsystems zugenommen hat und damit Marktunsicherheit vorliegend in Definitionslücken reduziert werden konnte.

Zusätzlich bewerten die Experten die Methodenergebnisse hinsichtlich des messbaren Erfolgsfaktors **Sicherheit**, dass das **richtige Produkt** aus Kunden- und Anwendersicht entwickelt wird, um Rückschlüsse bezüglich der vorliegenden **Marktunsicherheit** ziehen zu können. Dabei bewerten die Experten sowohl **quantitativ**

den Grad der vorliegenden Sicherheit vor und nach der Methodendurchführung als auch **qualitativ** die Veränderung hinsichtlich dieser Messgröße. Die Ergebnisse der Bewertung hinsichtlich dieser Größe sind in Abbildung 6.21 dargestellt.

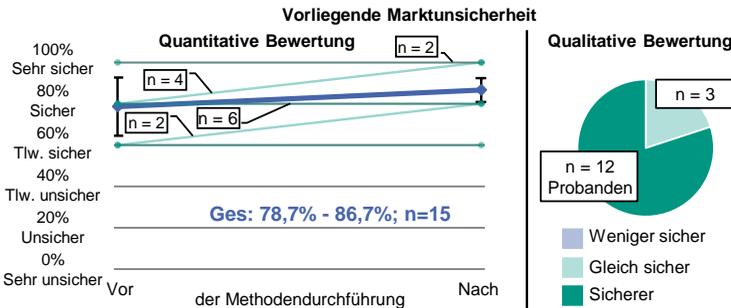


Abbildung 6.21: Links: quantitative Bewertung der vorliegenden Marktunsicherheit (blaue Kurve entspricht dem Mittelwert und grüne Kurven den Einzelantworten); rechts: qualitative Bewertung der Veränderung der Marktunsicherheit (Zimmermann, Kempf, Hartmann et al., 2021, S. 30)

Die Ergebnisse der quantitativen Evaluation spiegeln wider, dass die Probanden einen Anstieg dieser Sicherheit (78,7 % auf 86,7 %) wahrnehmen. Dies bestätigt sich im Rahmen der qualitativen Bewertung der Veränderung dieser Sicherheit. Hierbei geben 12 der 15 Probanden an, nach der Methodendurchführung eine höhere Sicherheit wahrzunehmen, dass das richtige Produkt aus Kunden- und Anwendersicht entwickelt wird. Demgemäß kann gefolgert werden, dass durch die Methodenanwendung ein Anstieg der subjektiv wahrgenommenen Sicherheit, dass das richtige Produkt aus Kunden- und Anwendersicht entwickelt wird, erfolgt ist, wodurch sich ableiten lässt, dass die vorliegende Marktunsicherheit durch die Methodendurchführung reduziert wurde.

6.2.2.3 Initiales Zielsystem bewerten⁹⁸

Nach einer Konsolidierung der gefundenen Zielsystemelemente findet eine Bewertung ebendieser entsprechend der *Methode Initiales Zielsystem bewerten* (vgl. Abschnitt 5.3) statt. Dazu wird ein moderierter digitaler Workshop durchgeführt, wobei

⁹⁸ Die in Abschnitt 6.2.2.3 dargestellten Ergebnisse sind teilweise in der Publikation (Zimmermann, Prinz et al., 2020) veröffentlicht worden.

ein Moderator das zu bewertende Zielsystemelement vorstellt und im Anschluss Konsensentscheidungen hinsichtlich der Einzelbewertung zwischen den beiden bewertenden Teilnehmenden gesucht werden. Abbildung 6.22 zeigt die Visualisierung der Bewertung entsprechend den Dimensionen Auswirkung, Reifegrad und Härtegrad, wobei die Methodenanwender im Rahmen der Methodendurchführung 15 Zielsystemelemente als kritisch einstufen.

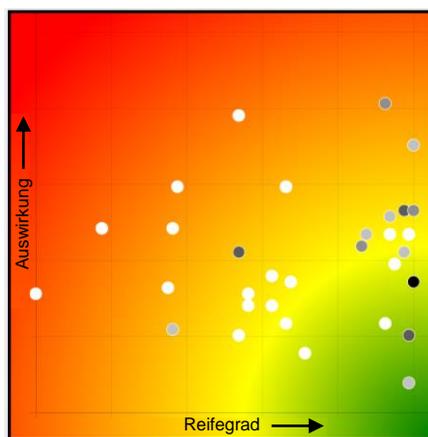


Abbildung 6.22: Darstellung der Auswertung der Bewertung des initialen Zielsystems; graue Punkte repräsentieren bewertete Zielsystemelemente, wobei die Farbe wiederum den Härtegrad widerspiegelt (Zimmermann, Prinz et al., 2020, S. 215)

Nach der Methodendurchführung werden die Probanden im Rahmen eines Interviews im Rahmen der Anwendungsevaluation kurz befragt. Dabei geben die Probanden an, den Nutzen viel höher als den Aufwand einzuschätzen. Ferner wird die Verständlichkeit der Methode und insbesondere der verschiedenen Bewertungskriterien als äußerst gut bewertet.

Darüber hinaus wird im Rahmen der Anwendungsevaluation eine Analyse hinsichtlich der Zuverlässigkeit der Methode in Hinblick auf die Identifikation kritischer Zielsystemelemente durchgeführt. Der Fokus dieser Betrachtung richtet sich darauf zu analysieren, ob die Methode ausreichend kritische Zielsystemelemente und die „richtigen“ kritischen Zielsystemelemente identifiziert. Dazu bekommen die Metho-

denanwender im Vorfeld eine Liste mit sämtlichen zu bewertenden Zielsystemelementen ausgehändigt und markieren die aus ihrer Sicht kritischen Zielsystemelemente. Dieselbe Bewertung wird im Vorfeld durch einen Fachexperten durchgeführt. Dieser stuft 12 Zielsystemelemente als mit Marktunsicherheit behaftet ein, die wiederum alle Bestandteil der 15 Zielsystemelemente sind, die im Rahmen der Methodenanwendung als kritisch identifiziert werden. Die Methodenanwender bewerten im Vorfeld sieben Zielsystemelemente als kritisch, wobei sich im Rahmen der Methodendurchführung zwei dieser als unkritisch herausstellen. Allerdings werden durch die Methodenanwendung 10 weitere kritische Zielsystemelemente identifiziert. Eine entsprechende Übersicht bietet Abbildung 6.23.

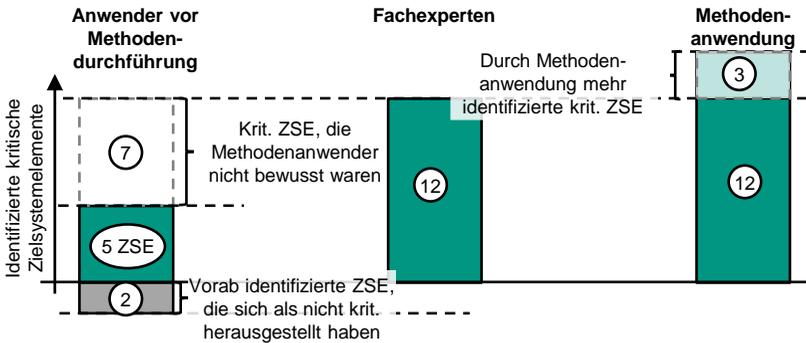


Abbildung 6.23: Vergleichende Darstellung der mit Methode identifizierten kritischen Zielsystemelemente mit der Einschätzung eines Fachexperten und der Einschätzung der Methodenanwender jeweils vor der Methodenanwendung

Folglich kann hinsichtlich der Zuverlässigkeit, die kritischen, mit Marktunsicherheiten und hoher Auswirkung behafteten Zielsystemelemente zu identifizieren, gefolgert werden, dass die Methode mehr unsichere Zielsystemelemente identifiziert als der Methodenanwender und eine 100%-Überschneidung zu den vom Fachexperten als kritisch markierten Zielsystemelementen vorliegt.

Im Zuge der Erfolgsevaluation bewerten die Experten des anlagentechnischen Brandschutzes den messbaren Erfolgsfaktor **Handlungsbedarf zu validieren** und damit Marktunsicherheiten zu reduzieren **quantitativ** vor und nach der Methodendurchführung. Zusätzlich wird **qualitativ** die Veränderung dieser Größe nach der Methodendurchführung bewertet (vgl. Abbildung 6.24).

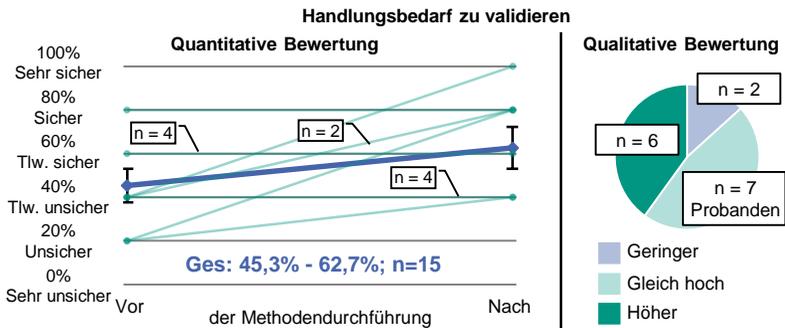


Abbildung 6.24: Links: quantitative Bewertung des vorliegenden Handlungsbedarfs zu validieren (blaue Kurve entspricht dem Mittelwert und grüne Kurven den Einzelantworten); rechts: qualitative Bewertung der Veränderung dieses Handlungsbedarfs

Hinsichtlich des Handlungsbedarfs zu validieren wird durch die quantitative Evaluation dieser Zielgröße anschaulich, dass dieser in der subjektiven Einschätzung der Fachexperten von 45,3 % vor der Methodenanwendung auf 62,7 % nach der Methodenanwendung ansteigt. Dabei bewerten neun der Befragten vor und nach der Methodendurchführung mit der gleichen Antwort, sechs Teilnehmende nach der Methodendurchführung mit einem höheren Wert als zuvor. Im Rahmen der qualitativen Bewertung hinsichtlich dieser Zielgröße ergibt sich ein diverses Bild. Die Mehrheit (7 von 15 Teilnehmende) bewertet den Handlungsbedarf zu validieren vor und nach der Methodendurchführung als gleich hoch, sechs Teilnehmende stufen diesen als höher und zwei Probanden als geringer ein.

Zusätzlich werden die Ergebnisse der Methode hinsichtlich des messbaren Erfolgsfaktors **Sicherheit**, dass das aus Kunden- und Anwendersicht **richtige Produkt** entwickelt wird, evaluiert, der eine Schlussfolgerung hinsichtlich der vorliegenden **Marktunsicherheit** ermöglicht. Dabei bewerten die Fachexperten **quantitativ** vor und nach der Methodenanwendung die entsprechende Messgröße und schätzten zusätzlich nach der Methodenanwendung **qualitativ** die Veränderung hinsichtlich dieser Größe ein. Die Ergebnisse dieser quantitativen und qualitativen Bewertung sind in der nachstehenden Abbildung 6.25 dargestellt.

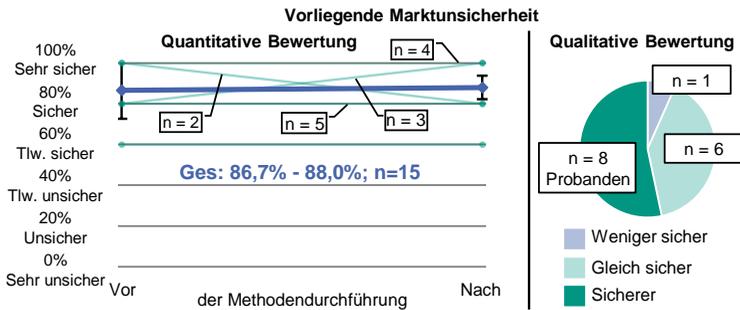


Abbildung 6.25: Links: quantitative Bewertung der vorliegenden Marktunsicherheit (blaue Kurve entspricht dem Mittelwert und grüne Kurven den Einzelantworten); rechts: qualitative Bewertung der Veränderung der Marktunsicherheit

Im Rahmen der quantitativen Bewertung lässt sich ein Anstieg der wahrgenommenen Sicherheit, dass das aus Kunden- und Anwendersicht richtige Produkt entwickelt wird, von durchschnittlich 86,7 % vor der Methodenanwendung auf durchschnittlich 88,0 % nach der Methodenanwendung feststellen. Dabei ist anzumerken, dass zwei der Probanden nach der Methodendurchführung einen niedrigeren Wert für die wahrgenommene Sicherheit angeben als vor dieser. Einer dieser beiden führt im Gespräch diesbezüglich aus, dass er die durch die Methodendurchführung identifizierten Unsicherheiten vor der Methodendurchführung nicht als solche wahrgenommen hat und deswegen die Sicherheit nach der Methodendurchführung geringer bewertet. Entsprechend stellt dies ein Indiz dar, dass das Bewusstsein des Probanden für die vorliegenden Unsicherheiten damit gesteigert wurde. Im Rahmen der qualitativen Bewertung gibt ebendieser Proband an, dass die vorliegende Sicherheit, dass das aus Kunden- und Anwendersicht richtige Produkt entwickelt wird, aus seiner Sicht nun geringer ist. Acht der befragten Probanden geben im Rahmen der qualitativen Bewertung der vorliegenden Sicherheit an, dass aus ihrer Sicht nach der Methodendurchführung die gleiche Sicherheit vorliegt, wohingegen sechs Probanden konstatieren, eine höhere Sicherheit zu verspüren. Folglich lässt sich ableiten, dass den Probanden die vorliegenden Marktunsicherheiten nun stärker bewusst sind, aber ihrer Ansicht zufolge dennoch eine gewisse Reduktion dieser vorliegenden Unsicherheit stattgefunden hat bzw. sie der Überzeugung sind, dass die Methode dazu beiträgt, dass das aus Kunden- und Anwendersicht richtige Produkt entwickelt wird.

6.2.2.4 Initiales Zielsystem validieren⁹⁹

Im Nachgang werden drei der als kritisch eingestuften Zielsystemelemente ausgewählt und entsprechend der *Methode Initiales Zielsystem validieren* (vgl. Abschnitt 5.4) geeignete MVPs ausgewählt sowie aufgebaut. Diese drei ausgewählten Zielsystemelemente sind inhaltlich eng miteinander verbunden und beschreiben die Integration einer Mensch-Maschine-Schnittstelle in das bestehende Produkt, um dessen Gebrauchstauglichkeit zu optimieren und anfallende Dokumentationsaufgaben (teilweise) zu automatisieren. Die nachstehende Abbildung 6.26 zeigt schematisch die notwendigen Anpassungen der Produktgeneration G_{n-1} zur Erfüllung der Zielsystemelemente.

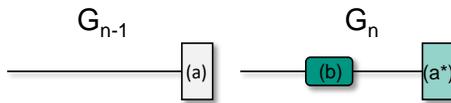


Abbildung 6.26: Schematische Darstellung beider Produktgenerationen des Prüfgeräts (links G_{n-1} ; rechts G_n). (a) Prüfeinheit (vgl. Abbildung 6.12 links) dargestellt mit Prüfstange für hohe Höhen; (b) Digitale Mensch-Maschine-Schnittstelle (Zimmermann, Heimicke et al., 2021)

Die Produktgeneration G_{n-1} weist aktuell keine derartige Schnittstelle auf, sodass die entsprechende Komponente (b) ausschließlich bei Produktgeneration G_n auftritt. Die Integration der Mensch-Maschine-Schnittstelle (Komponente (b)) erfordert Anpassungen der bestehenden Komponente (a), wobei diese von außen durch Anwender nicht direkt ersichtlich wird. Die Änderungen treten vielmehr durch das Zusammenspiel mit der Mensch-Maschine-Schnittstelle in Erscheinung. Folglich wird (a) im Kontext der Produktgeneration G_n als (a*) dargestellt.

Bei der Analyse der zu validierenden Zielsystemelemente im Rahmen der MVP-Auswahl zeigt sich, dass zwei verschiedene Validierungsziele vorliegen. Einerseits gilt es, die Teilproduktfunktionen, die im Zuge der Integration der Mensch-Maschine-Schnittstelle für die Anwender von Relevanz werden, zu validieren, andererseits sollen Erkenntnisse hinsichtlich der Zahlungsbereitschaft der Kunden bezüglich der neuen Teilproduktfunktionen erhalten werden. Im Rahmen des MVP-

⁹⁹ Die in Abschnitt 6.2.2.4 dargestellten Ergebnisse sind teilweise in der Publikation (Zimmermann, Heimicke et al., 2021) veröffentlicht worden.

Auswahlprozesses wird demgemäß entschieden, dass zwei MVPs aufgebaut werden sollen, die aufeinander abgestimmt sind. Ein Wireframe, der dafür eingesetzt wird, dass die Anwender die Teilproduktfunktionen erleben können und ein Produktinformationsblatt, das eine Bewertung des finanziellen Werts der relevanten Teilproduktfunktionen durch Kunden ermöglicht. Der Aufbau des Wireframes ist in Abbildung 6.27 dargestellt, wobei links das Zusammenspiel der Komponenten und die Integration in das Systemumfeld in der Realität dargestellt sind und rechts die entsprechende Umsetzung im Wireframe.

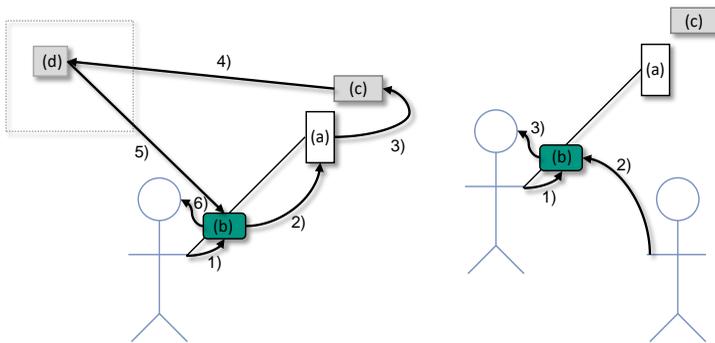


Abbildung 6.27: Schematische Darstellung der Anwendung inklusive Funktionsablauf (visualisiert durch bezifferte Pfeile) der Produktgeneration G_n ; links: tatsächliche Anwendung; rechts: Umsetzung in MVP (Zimmermann, Heimicke et al., 2021)

Fokus der Darstellung ist die Kommunikation zwischen den verschiedenen Komponenten, die in der entsprechenden Abbildung durch die Pfeile dargestellt wird. Zwar müsste zur gesamtheitlichen Umsetzung der Teilproduktfunktionen, wie bereits dargelegt, auch die Komponente (a) angepasst werden. Dies ist jedoch mit enormem Entwicklungsaufwand verbunden und bei der Anwendung nicht nachvollzogen werden, wie die Teilproduktfunktionen umgesetzt wurden. Somit steht bei der Erstellung des Wireframes die Komponente (b) im Fokus. Es wird deutlich, dass zusätzlich auch die Komponenten (c) und (d), die Teil des Systemumfelds sind, angepasst werden müssten. Da auch dies mit enormem Entwicklungsaufwand verbunden ist und ebenfalls durch den Anwender nicht nachvollziehbar ist, ob die Kommunikation wirklich über diese Komponenten realisiert wurde, wird auf eine Anpassung ebendieser Komponenten verzichtet.

Zum Aufbau des Wireframes wird folglich die Komponente (a) von der Produktgeneration G_{n-1} als Teil des Referenzsystems übernommen und die angedachte Kommunikationskette wird durch einen Befehl von außen, der per Fernsteuerung durch einen Entwickelnden ausgeführt wird, ersetzt. Konkret bedeutet dies, dass auf der Mensch-Maschine-Schnittstelle ein Mockup programmiert wird, das der Anwender über einen Befehl (Kommunikationspfeil 1)) aktivieren und steuern kann. Allerdings wird die Kommunikation zu Komponente (a) (Kommunikationspfeil 2)) nicht durch das System selbst ausgeführt, sondern vielmehr wird von einem Entwickelnden per Fernsteuerung ein Befehl an die Mensch-Maschine-Schnittstelle (Komponente (b)) gesendet, die die restliche Kommunikationskette ersetzt, und direkt den entsprechenden Antwortzustand des Mockups hervorruft. Durch diese Vereinfachung wird zusätzlich möglich, die Komponente (d), die sich in der Praxis in einem anderen Raum befindet, wegzulassen. Abbildung 6.28 zeigt Anwender bei der Erprobung des Wireframe-MVPs.



Abbildung 6.28: MVP in der Anwendung mit Kunden und Anwendern (Zimmermann, Heimicke et al., 2021)

Zur Evaluation der Zahlungsbereitschaft wird ein Produktinformationsblatt für die Produktgeneration G_n erstellt, wobei das Datenblatt der Produktgeneration G_{n-1} als Ausgangspunkt dient. Zusätzlich werden lediglich die neuen zu evaluierenden Produktfunktionen und der zugehörige Nutzen, den Kunden und Anwender durch diese Funktion haben, in das Datenblatt aufgenommen. Außerdem wird ein Bestellfeld ergänzt, auf dem angegeben werden kann, ob man die neue Produktgeneration zu

einem im Datenblatt angegebenen Preis erwerben möchte, wobei verschiedene Versionen der Datenblätter durch unterschiedliche Kombinationen der Teilproduktfunktionen und Preise erzeugt werden. Die Validierung der MVPs wird mit vier Gruppen, die jeweils aus einem Kunden oder Vertriebsmitarbeitenden bestehen und zusätzlich ein bis drei Technikern, die Produkthanwender darstellen, durchgeführt. Dabei können die Probanden den Wireframe in seinem gewohnten Einsatzkontext testen und erhalten das Produktdatenblatt. Zur Validierung der Teilfunktionen werden mit den Anwendern Interviews geführt und Fragebögen ausgefüllt. Beim Einsatz des Wireframes stellt keiner der Probanden, die allesamt erfahrene Produkthanwender sind, die Funktionsweise infrage. Erst am Ende der Validierungsstudie werden die Teilnehmenden diesbezüglich aufgeklärt.

Für die Erfolgsevaluation bewerten die Experten jeweils vor und nach der Methodenanwendung **quantitativ** die **vorliegende Sicherheit** in Bezug auf die drei **kritischen Zielsystemelemente** (ZSE). Eine hohe Sicherheit bedeutet in diesem Kontext, dass der Proband sich sicher ist, dass die Umsetzung dieses Zielsystemelements zur Erfüllung der Kunden- und/oder Anwenderbedürfnisse beiträgt oder dass die Umsetzung zum Produkterfolg am Markt verhilft. Eine niedrige Sicherheit bedeutet wiederum, dass der Proband der Auffassung ist, dass dieses Zielsystemelement nicht zum Erfolg des Produkts am Markt beiträgt. Dementsprechend wird auf Basis dieser Bewertung eine Implikation hinsichtlich des Grads der Marktunsicherheit des jeweiligen Zielsystemelements möglich. Die Ergebnisse sind in Abbildung 6.29 abgebildet.

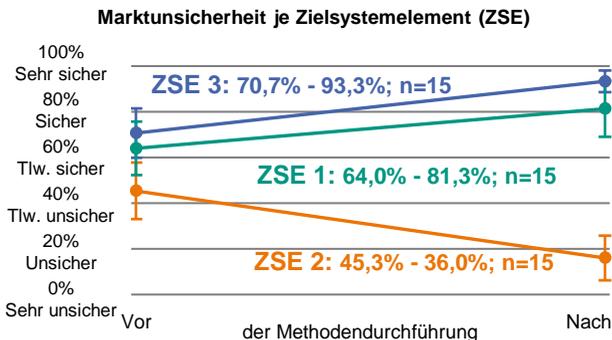


Abbildung 6.29: Wahrgenommene Marktunsicherheit hinsichtlich der drei validierten Zielsystemelemente (Zimmermann, Heimicke et al., 2021)

Es wird ersichtlich, dass die wahrgenommene Sicherheit bezüglich der Zielsystemelemente 1 und 3, die den Reifegrad dieser Zielsystemelemente hinsichtlich der getroffenen Annahmen bezüglich der Kunden- und Anwenderbedürfnisse widerspiegelt, durch die Methodenanwendung ansteigt. Folglich sind sich die Experten nach der Methodendurchführung sicherer, dass Kunden und Anwender ein Produkt wünschen, das diese beiden Zielsystemelemente erfüllt. Im gleichen Zeitraum sinkt die Sicherheit hinsichtlich des Zielsystemelements 2 ab. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die Annahmen bezüglich des Kunden- und Anwendernutzens, die mit dem Zielsystemelement verbunden waren, sich im Rahmen der Validierung als nicht zutreffend herausgestellt haben. Vor diesem Hintergrund wurde durch die Projektverantwortlichen entschieden, Zielsystemelement 2 auf Basis ebendieser in der Validierung gesammelten Erkenntnisse aus dem Zielsystem zu entfernen.

Darüber hinaus findet im Rahmen der Erfolgsevaluierung eine Bewertung hinsichtlich des messbaren Erfolgsfaktors **insgesamt vorliegende Marktunsicherheit** statt. Dazu bewerten die Experten **quantitativ** vor und nach der Methodendurchführung die **vorliegende Sicherheit**, dass aus Kunden- und Anwendersicht das **richtige Produkt** entwickelt wird. Zusätzlich erfolgt eine **qualitative** Bewertung der Veränderung dieser Zielgröße. Die entsprechenden Ergebnisse sind in Abbildung 6.30 dargestellt.

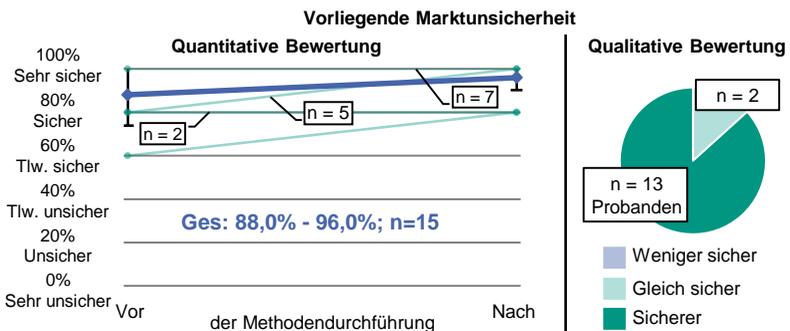


Abbildung 6.30: Links: quantitative Bewertung der vorliegenden Marktunsicherheit (blaue Kurve entspricht dem Mittelwert und grüne Kurven den Einzelantworten); rechts: qualitative Bewertung der Veränderung der Marktunsicherheit (Zimmermann, Heimicke et al., 2021)

Die Ergebnisse der quantitativen Bewertung zeigen, dass die Fachexperten wahrnehmen, dass die Sicherheit, dass das richtige Produkt aus Kunden- und Anwendersicht entwickelt wird, durch die Methodendurchführung angestiegen ist (88,0 % auf 96,0 %). Diese Tendenz wird durch die qualitative Bewertung der Veränderung dieser Sicherheit bestätigt. Hierbei geben 13 der 15 Probanden an, sich nach der Methodendurchführung sicherer zu sein, dass das richtige Produkt aus Kunden- und Anwendersicht entwickelt wird. Damit verdeutlichen die Ergebnisse, dass die Sicherheit, das richtige Produkt zu entwickeln, gesteigert werden konnte bzw. die vorliegende Marktunsicherheit durch die Minimum Viable Products reduziert wurde.

6.2.3 Zwischenfazit

Durch die Evaluation, die im Rahmen der Fallstudie B durchgeführt wurde, konnte im Rahmen der Anwendungsevaluation gezeigt werden, dass die gefundenen Methoden die zuvor identifizierten Schlüsselfaktoren in adäquater Weise adressieren und die Gebrauchstauglichkeit der Methoden in Bezug auf das Aufwand-Nutzen-Verhältnis im Sinne der Methodenanwender ist. Im Zuge der *Methode Initiales Zielsystem* ableiten konnte durch eine systematische Analyse der bestehenden Referenzsystemelemente in Kombination mit gezielten Kunden- und Anwenderbefragungen die zu differenzierenden Produkteigenschaften ausgewählt und geeignete Referenzsystemelemente zur Realisierung ebendieser Produkteigenschaften identifiziert und ausgewählt werden. Dabei konnte ein Anstieg der Sicherheit hinsichtlich der Auswahl der zu differenzierenden Produkteigenschaften und der zur Realisierung herangezogenen Referenzsystemelemente beobachtet werden. Darauf aufbauend wurden im Rahmen eines interdisziplinären Workshops, in dem die *Methode Initiales Zielsystem erweitern* angewendet wurde, 40 neue Zielsystemelemente, formuliert in Form von User-Stories, gefunden. Dabei wurde ein Anstieg des Grads der Vollständigkeit des Zielsystems identifiziert, der wiederum einen Indikator hinsichtlich der vorliegenden Definitionslücken darstellt. Folglich kann diesbezügliche eine Reduktion gefolgert werden. Die gefundenen Zielsystemelemente wurden im Nachgang im Rahmen der *Methode Initiales Zielsystem bewerten* bezüglich des vorliegenden Reifegrads bzw. der vorliegenden Marktunsicherheit, der Auswirkung und des Härtegrads bewertet und somit hinsichtlich der Validierung priorisiert. Dabei konnte ein Anstieg des Handlungsbedarfs hinsichtlich der Validierung verzeichnet werden. Abschließend wurden, im Zuge der *Methode Initiales Zielsystem validieren*, aufbauend auf den identifizierten kritischen Zielsystemelementen zwei MVPs ausgewählt, aufgebaut und Kunden und Anwendern im Rahmen einer Validierungsstudie zur Verfügung gestellt. Dabei konnte ein aus Kunden- und Anwendersicht falsches Zielsystemelement identifiziert werden, das nachfolgend aus dem Zielsystem gelöscht wurde.

Zentrale Größe der Fallstudie B war die wahrgenommene Sicherheit, dass das durch das Zielsystem beschriebene Produkt den Kunden- und Anwenderbedürfnissen entspricht. Diese Größe wurde jeweils vor und nach jeder Methode durch 15 Fachexperten des anlagentechnischen Brandschutzes subjektiv bewertet. Der Verlauf dieser Größe über alle vier Methoden hinweg wird mittels der nachstehenden Abbildung 6.31 dargestellt.

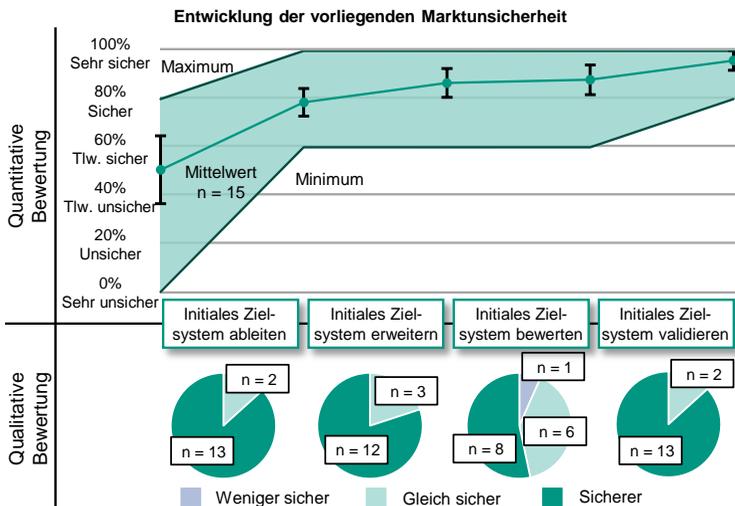


Abbildung 6.31: Entwicklung der vorliegenden Marktunsicherheit bei der konsekutiven Anwendung der vier Methoden; oben: Abbildung der Entwicklung des Mittelwerts im Rahmen der quantitativen Bewertung zeigt, dass Marktunsicherheit kontinuierlich reduziert wird; unten: Darstellung der qualitativen Bewertung je Methode

Es ist zu erkennen, dass die subjektive Einschätzung der Fachexperten hinsichtlich dieser Sicherheit von der Ausgangssituation aus über alle Methoden hinweg kontinuierlich ansteigt. Demnach ist der Schluss möglich, dass durch die konsekutive Anwendung der vier dargestellten Methoden zur Unterstützung der Zielsystementwicklung die vorliegende Marktunsicherheit reduziert wird. Es gilt zu berücksichtigen, dass dieser Anstieg erwartungsgemäß ist, da durch die Durchführung von Produktentwicklungsaktivitäten Wissen generiert wird und damit Unsicherheit reduziert wird. Dieses Phänomen lässt sich allerdings im Rahmen der Fallstudie aufgrund der vorliegenden Rahmenbedingungen nicht ausschließen.

6.3 Fazit

Zur Validierung der gefundenen Methoden wurden diese im Rahmen zweier Fallstudien angewendet und der Beitrag dieser im Sinne einer Anwendungs- und einer Erfolgsevaluation ermittelt. Dazu wurden die nachfolgenden Teilfragen beantwortet:

3.1 Welchen Beitrag leistet die *Methode Initiales Zielsystem bewerten* hinsichtlich der Steigerung des Bewusstseins der Produktentwickelnden für die Marktunsicherheiten, mit denen Zielsystemelemente behaftet sind, unter den Rahmenbedingungen des Live-Labs Integrierte Produktentwicklung? (vgl. Abschnitt 6.1)

Durch die Anwendung der *Methode Initiales Zielsystem bewerten* im Rahmen des Live-Labs IP konnte – unter Berücksichtigung der entsprechenden Untersuchungsbedingungen – nachgewiesen werden, dass das Bewusstsein der Probanden der Testgruppe für die vorliegenden Marktunsicherheiten durch die Anwendung der Methode gesteigert wurde, wohingegen das Bewusstsein der Probanden der Kontrollgruppe nahezu unverändert geblieben ist. Durch das vorhergehende Anwenden der *Methode Initiales Zielsystem erweitern* konnte gewährleistet werden, dass sämtliche Probanden eine vergleichbare Ausgangssituation aufweisen.

3.2 Welchen Beitrag leisten die Methoden der initialen Zielsystementwicklung hinsichtlich der subjektiv eingeschätzten vorliegenden Marktunsicherheit unter den Rahmenbedingungen der Untersuchungsumgebung Hekatron Brandschutz? (vgl. Abschnitt 6.2)

Die aufeinander aufbauende Anwendung aller vier zuvor abgeleiteten Methoden im Rahmen eines realen Entwicklungsprojekts lässt den Schluss zu, dass Marktunsicherheiten im Rahmen der Zielsystementwicklung systematisch reduziert werden können. Die Bewertung dieser Marktunsicherheiten jeweils vor und nach der Methodendurchführung durch Experten des anlagentechnischen Brandschutzes zeigt einen kontinuierlichen Abfall. So konnten nach Ansicht der Experten Wissenslücken durch die systematische Auswahl von Referenzsystemelementen unter Berücksichtigung der Kunden- und Anwenderbedürfnisse reduziert werden. Ferner konnten Definitionslücken durch die Identifikation von aus Kunden- und Anwendersicht relevanten Zielsystemelementen geschlossen werden. Durch die systematische Bewertung dieser Zielsystemelemente konnten drei mit Marktunsicherheiten behaftete Zielsystemelemente identifiziert werden. In einer sich anschließenden Validierung konnte die Validität zweier dieser Zielsystemelemente nachgewiesen werden, wohingegen ein Zielsystemelement als nicht valide bewertet wurde. Dieses wurde im Nachgang aus dem Zielsystem gestrichen, wodurch die vorliegende Marktunsicherheit reduziert werden konnte.

7 Zusammenfassung und Ausblick

Nachfolgend werden die Ergebnisse resümiert und diskutiert. Abschließend werden im Ausblick der Arbeit weiterführende Forschungsarbeiten motiviert.

7.1 Zusammenfassung

Die Produktentwicklung ist ein mit Unsicherheiten behaftetes System. Dabei lassen sich diese Unsicherheiten nicht vermeiden, vielmehr bedarf es eines adäquaten Umgangs in Bezug auf diese. Marktunsicherheiten umfassen dabei unter anderem Wissens- und Definitionslücken hinsichtlich der Kunden- und Anwenderbedürfnisse oder der Anwendungsfälle dieser Kunden und Anwender in Bezug auf das zu entwickelnde Produkt. Die vorliegenden Unsicherheiten sind ursächlich für die Notwendigkeit der Berücksichtigung von Iterationen im Rahmen der Produktentwicklung, die durch die kontinuierliche parallele Entwicklung von Ziel- und Objektsystem beschrieben werden können. Insbesondere die frühe und kontinuierliche Validierung bildet einen zentralen Stellhebel zur Wissensgenerierung und damit zur Reduktion von Unsicherheiten. Allerdings kann beobachtet werden, dass eine Diskrepanz hinsichtlich des notwendigen Umgangs und des in der Untersuchungsumgebung ermittelten Umgangs mit Marktunsicherheiten insbesondere im Rahmen der Zielsystementwicklung besteht, der sich unter anderem darauf zurückführen lässt, dass den Produktentwickelnden die vorliegenden Marktunsicherheiten nicht ausreichend bewusst sind. Demzufolge wurde die folgende Zielsetzung der Arbeit abgeleitet:

Zielsetzung:

Ziel der Arbeit ist es, Produktentwickelnde mit Methoden systematisch bei der Entwicklung von anlagentechnischem Brandschutz hinsichtlich des Umgangs mit Marktunsicherheiten bei der initialen Zielsystementwicklung zu unterstützen.

Dazu soll untersucht werden, wie das Bewusstsein der Produktentwickelnden für die vorliegenden Marktunsicherheiten und die Notwendigkeit von Validierungsaktivitäten gesteigert werden kann und wie Methoden zum systematischen Schließen von Wissens- und Definitionslücken gestaltet werden können.

Diese wurde nachfolgend durch drei Forschungsfragen operationalisiert, die gemäß einem dreistufigen, an die Design Research Methodology angelehnten Vorgehen beantwortet wurden.

1. Wie präsent sind Aktivitäten zum Umgang mit Marktunsicherheiten, mit denen Zielsystemelemente behaftet sind, im Produktentstehungsprozess und im Bewusstsein der Produktentwickelnden der Untersuchungsumgebung? (Kapitel 4)
2. Wie sind Methoden zur Unterstützung der initialen Zielsystementwicklung zu gestalten, um im Modell der PGE – Produktgenerationsentwicklung den Umgang mit Marktunsicherheiten – Identifizieren und Reduzieren – zu fördern? (vgl. Kapitel 5)
3. Welchen Beitrag leisten diese Methoden der initialen Zielsystementwicklung hinsichtlich des Umgangs mit Marktunsicherheiten, mit denen Zielsystemelemente behaftet sind, unter definierten Rahmenbedingungen? (vgl. Kapitel 6)

Im Rahmen der *Deskriptiven Studie 1* wurde eine retrospektive Prozessmodellierung durchgeführt, um den Stellenwert der Validierung in der Untersuchungsumgebung zu ermitteln (vgl. Abbildung 7.1).

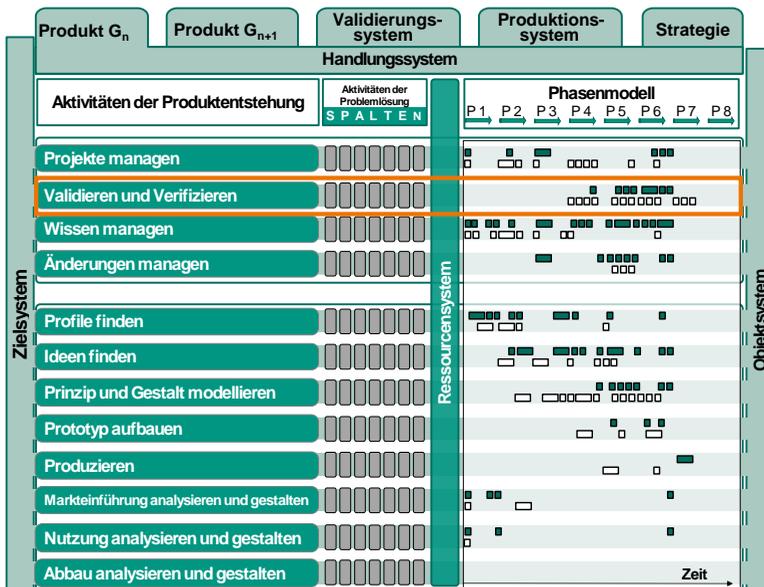


Abbildung 7.1: Retrospektive Prozessmodellierung für 2 Entwicklungsprojekte, dargestellt als Anwendungsmodell im iPeM zeigt, dass Validierung in den Entwicklungsprojekten eher spät durchgeführt wird (Zimmermann, Heimicke et al., 2021)

Es kann konstatiert werden, dass die Validierung in der vorliegenden Untersuchungsumgebung im Rahmen des Entwicklungsprozesses eher spät durchgeführt wird und der Stellenwert der Validierung als zentrale Aktivität zum Umgang mit Marktunsicherheiten in der Untersuchungsumgebung eher gering ist. Dementsprechend besteht eine Diskrepanz zwischen dem im Stand der Forschung beschriebenen Stellenwert der Validierung als zentraler Aktivität zur Reduktion von Unsicherheiten und dem in der Untersuchungsumgebung ermittelten.

In einer darauf aufbauenden dreistufigen Interview- und Fragebogenstudie konnten die zuvor gesammelten Erkenntnisse hinsichtlich des Stellenwerts der Validierung in der Untersuchungsumgebung bestätigt und zudem die Gründe für die identifizierte Diskrepanz ermittelt werden. Nach Ansicht der Produktentwickelnden sind die zentralen Gründe, die den Stellenwert der Validierung bedingen, vornehmlich:

- Normative Prägung der Entwicklung von anlagentechnischem Brandschutz
- Starke Innenorientierung der Produktentwicklung
- Umgang mit der Diversität von Kunden und Anwendern
- Gefahr, dass Ideen an Wettbewerb verloren gehen
- Aufwand, der mit der Validierung und potentiell notwendigen Änderungen einhergeht
- Mangelndes Know-How insbesondere im Hinblick auf die frühe Validierung
- Notwendigkeit der frühen Validierung ist den Produktentwickelnden nicht ausreichend bewusst
- Vorliegende Marktunsicherheiten sind den Produktentwickelnden nicht ausreichend bewusst

Drüber hinaus wird durch die Studie gezeigt, dass aus Sicht der Probanden ein Bedarf hinsichtlich Methoden zum Umgang mit Marktunsicherheiten in der Zielsystementwicklung besteht, wobei – neben der Erhebung der aus Kunden- und Anwendersicht richtigen Zielsystemelemente – das systematische Sensibilisieren des Bewusstseins der Produktentwickelnden für die vorliegenden Unsicherheiten und damit das Fördern der Validierung von entscheidender Bedeutung sind.

Um diesen Bedarf an Methoden weiter zu konkretisieren und darüber hinaus die Validität dieses Bedarfs in weiteren Anwendungsfällen zu untersuchen, wurde nachfolgend das Methodenprofil, der zu entwickelnden Methoden durch Abgleich spezifischer Herausforderungen des Zielsystemmanagements und des anlagentechnischen Brandschutzes, die durch Interviewstudien erfasst wurden, mit den generischen ASD-Grundprinzipien beschrieben. Das entsprechende Methodenprofil ist der nachstehenden Abbildung 7.2 zu entnehmen.

<p>Methodenclaim</p> <p>Wir brauchen Methoden, die Produktentwickler bei den Aktivitäten der initialen Zielsystementwicklung hinsichtlich des Umgangs mit den in Form von Wissens- und Definitionslücken vorliegenden Marktunsicherheiten unterstützen, wobei es dabei insbesondere das Bewusstsein der Produktentwickler für die vorliegenden Marktunsicherheiten und deren Bedeutung zu steigern gilt.</p>					
<p>Initiale Methodenbeschreibung (vgl. Abschnitt 4.3)</p> <p>Unterstützung der initialen Zielsystementwicklung durch Adressierung der Herausforderungen durch Operationalisierung ausgewählter ASD-Grundprinzipien.</p> <table border="0"> <tr> <td style="vertical-align: top;"> <p>Herausforderungen</p> <ul style="list-style-type: none"> • Erheben der aus Kunden- und Anwendersicht richtigen Zielsystemelemente (ZSE) • Vollständigkeit der erhobenen ZSE Geringer Stellenwert der frühen und kontinuierlichen Validierung • Bewusstsein der Produktentwickler für die vorliegenden Unsicherheiten • Einheitliches Verständnis der ZSE unter den Entwicklern </td> <td style="vertical-align: top;"> <p>ASD-Grundprinzipien</p> <ul style="list-style-type: none"> • P4: Jedes Prozesselement lässt sich im ZHO-Modell verorten und jede Aktivität basiert auf den Grundoperatoren Analyse und Synthese • P1: Der Mensch steht im Zentrum der Produktentstehung • P8: Frühe und kontinuierliche Validierung dient dem Abgleich zwischen Problem und dessen Lösung • P6: Jedes Produkt wird auf Basis von Referenzen entwickelt </td> </tr> </table>		<p>Herausforderungen</p> <ul style="list-style-type: none"> • Erheben der aus Kunden- und Anwendersicht richtigen Zielsystemelemente (ZSE) • Vollständigkeit der erhobenen ZSE Geringer Stellenwert der frühen und kontinuierlichen Validierung • Bewusstsein der Produktentwickler für die vorliegenden Unsicherheiten • Einheitliches Verständnis der ZSE unter den Entwicklern 	<p>ASD-Grundprinzipien</p> <ul style="list-style-type: none"> • P4: Jedes Prozesselement lässt sich im ZHO-Modell verorten und jede Aktivität basiert auf den Grundoperatoren Analyse und Synthese • P1: Der Mensch steht im Zentrum der Produktentstehung • P8: Frühe und kontinuierliche Validierung dient dem Abgleich zwischen Problem und dessen Lösung • P6: Jedes Produkt wird auf Basis von Referenzen entwickelt 		
<p>Herausforderungen</p> <ul style="list-style-type: none"> • Erheben der aus Kunden- und Anwendersicht richtigen Zielsystemelemente (ZSE) • Vollständigkeit der erhobenen ZSE Geringer Stellenwert der frühen und kontinuierlichen Validierung • Bewusstsein der Produktentwickler für die vorliegenden Unsicherheiten • Einheitliches Verständnis der ZSE unter den Entwicklern 	<p>ASD-Grundprinzipien</p> <ul style="list-style-type: none"> • P4: Jedes Prozesselement lässt sich im ZHO-Modell verorten und jede Aktivität basiert auf den Grundoperatoren Analyse und Synthese • P1: Der Mensch steht im Zentrum der Produktentstehung • P8: Frühe und kontinuierliche Validierung dient dem Abgleich zwischen Problem und dessen Lösung • P6: Jedes Produkt wird auf Basis von Referenzen entwickelt 				
<p>Referenzsystemelemente (vgl. Kapitel 2)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Story-Cards • Modell der PGE • Partialmodelle & Dimensionen des Zielsystem (ZS) • Minimum Viable Products • Kano-Modell • SPALTEN 	<p>Use-Cases (vgl. Abschnitt 2.2.2.2)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Aktivitäten der initialen Zielsystementwicklung <p style="text-align: center;">Entwicklung initiales Zielsystem</p> <table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td style="width: 25%;">Initiales ZS ableiten</td> <td style="width: 25%;">Initiales ZS erweitern</td> <td style="width: 25%;">Initiales ZS bewerten</td> <td style="width: 25%;">Initiales ZS validieren</td> </tr> </table>	Initiales ZS ableiten	Initiales ZS erweitern	Initiales ZS bewerten	Initiales ZS validieren
Initiales ZS ableiten	Initiales ZS erweitern	Initiales ZS bewerten	Initiales ZS validieren		
<p>Kundennutzen – Unternehmen (vgl. Kapitel 4)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Steigern des Bewusstseins für vorliegende Marktunsicherheiten • Fördern der frühen Validierung • Effizienz in der Entwicklung • Steigern des Innovationspotentials 	<p>Anwendernutzen – Entwickler (vgl. Kapitel 4)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Unterstützung beim Entwickeln des initialen Zielsystems hinsichtlich <ul style="list-style-type: none"> • „Vollständigkeit“ des Zielsystems • Formulierung guter & eindeutiger Ziele • Verfügbarkeit von Validierungsansätzen 				
<p>Wettbewerbssituation (vgl. Abschnitt 2.3.1 & 2.3.2)</p> <ul style="list-style-type: none"> • FMEA / UMEA • Modellbasierte Entwicklung 	<p>Bedarf (vgl. Kapitel 1 & Abschnitt 2.3)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Bedeutung von Marktunsicherheiten für die Produktentwicklung; Anstieg der Unsicherheiten u.a. durch zunehmende Komplexität der Produkte und Märkte, etc. 				
<p>Validierung des ... durch (vgl. 2.3.1)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Messung der Veränderung der subjektiv wahrgenommenen Marktunsicherheit • Messung des Bewusstseins für die vorliegenden Unsicherheiten • Messung des spezifischen Methodennutzen in Bezug auf den zugehörigen Aufwand 					
<p>Rahmenbedingungen / Einschränkungen (vgl. Abschnitt 3.2.3)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Rahmenbedingungen der Untersuchungsumgebung 					

Abbildung 7.2: Abgeleitetes Methodenprofil als Teil des Zielsystems der nachfolgend zu entwickelnden Methoden zur initialen Zielsystementwicklung

Zur Adressierung dieses Methodenprofils wurden in der *Präskriptiven Studie* vier konsekutiv durchführbare Methoden zur Unterstützung beim Umgang mit Marktunsicherheiten bei der Entwicklung des initialen Zielsystems abgeleitet (vgl. Abbildung 7.3).

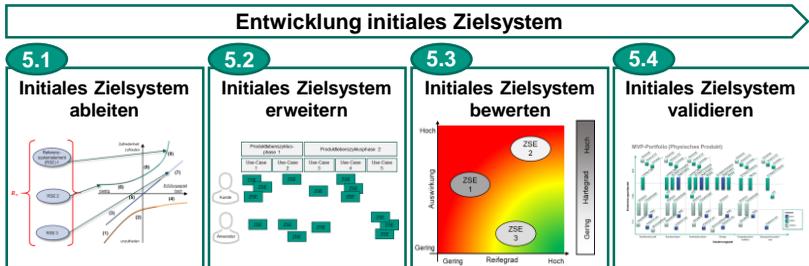


Abbildung 7.3: Übersicht der vier vorgestellten Methoden der Zielsystementwicklung zum Umgang mit Marktunsicherheiten

Im Rahmen der *Methode Initiales Zielsystem ableiten* (vgl. Abschnitt 5.1) werden aufbauend auf einer Analyse bereits ausgewählter Referenzsystemelemente systematisch aus Kunden- und Anwendersicht zu differenzierende erlebbare Produkteigenschaften ausgewählt. Dabei wird die Auswahl durch eine Systematik unterstützt, die auf dem zweidimensionalen Qualitätsverständnis nach KANO et al. (1996) aufbaut, wonach die wahrgenommene Qualität bzw. die durch diese erzielte Zufriedenheit nicht ausschließlich vom Erfüllungsgrad ebendieser, sondern vielmehr auch von der Erwartungshaltung an das entsprechende Merkmal abhängig ist. Zusätzlich werden durch Kunden- und Anwenderbefragung Referenzsystemelemente ausgewählt, die potentielle Realisierungen der zu differenzierenden Produkteigenschaften darstellen. Durch die kunden- und anwenderbezogene Analyse bestehender Referenzsystemelemente und der darauf aufbauenden Definition der zu entwickelnden Produktgeneration können systematisch Marktunsicherheiten reduziert werden.

Auf Basis der gefundenen Referenzsystemelemente bzw. der zugehörigen Zielsysteme werden im Zuge der *Methode Initiales Zielsystem erweitern* (vgl. Abschnitt 5.2) Personas und zu betrachtende Use-Cases abgeleitet, die in ein Portfolio zur Identifikation von Definitionslücken überführt werden. In einem Workshop formulieren Kunden, Anwender und Produktentwickler gemeinsam neue Zielsystemelemente entsprechend der Satzschablone von User-Stories, erweitern sowie konkretisieren

damit das abgeleitete initiale Zielsystem und reduzieren folglich die vorliegenden Definitionslücken und dementsprechend die bestehende Marktunsicherheit. Durch die Formulierung der Zielsystemelemente entsprechend der Satzschablone kann einerseits die Vollständigkeit der gefundenen Zielsystemelemente gewährleistet werden und andererseits bildet die explizite Formulierung des Kunden-, Anwender- oder Anbieternutzens als zentrales Element dieser Zielsystemelemente den Zugang zur Validierung ebendieser.

Die gefundenen Zielsystemelemente werden im Rahmen der *Methode Initiales Zielsystem bewerten* (vgl. Abschnitt 5.3) entsprechend der Dimensionen Reifegrad – als Indikator für vorliegende Marktunsicherheiten – Härtegrad und Auswirkung bewertet. Die Bewertung erfolgt dabei gemäß der identifizierten Einflussfaktoren, wobei zwischen Einflussfaktoren zu unterscheiden ist, die über spezifische Ausprägungen entsprechend dem zu bewertenden Zielsystemelement verfügen (zielsystemelement-spezifisch), und denen, die zielsystemübergreifend die gleiche Bewertung aufweisen (zielsystemelement-unspezifisch). Entsprechend dieser Bewertung, die durch ein digitales Tool unterstützt wird, lassen sich mit Marktunsicherheiten behaftete Zielsystemelemente mit hoher Auswirkung identifizieren, die es zu validieren gilt. Durch diese Bewertung kann das Bewusstsein der Produktentwickelnden für die vorliegenden Marktunsicherheiten und deren Auswirkungen im Rahmen der Produktentwicklung sensibilisiert werden.

Abschließend werden im Rahmen der *Methode Initiales Zielsystem validieren* (vgl. Abschnitt 5.4) für die identifizierten kritischen Zielsystemelemente entsprechend der vorliegenden Marktunsicherheit bzw. dem daraus ableitbaren Validierungsziel und den vorliegenden Rahmenbedingungen Minimum Viable Products ausgewählt und aufgebaut. Die Auswahl geeigneter MVPs wird dabei durch die Problemlösungsmethode SPALTEN operationalisiert, wobei die situations- und bedarfsgerechte Auswahl von MVPs durch ein Portfolio unterstützt wird, das sämtliche zur Auswahl stehenden MVPs beinhaltet. Darüber hinaus besteht für jedes MVP ein Steckbrief, der neben der Auswahl auch den Aufbau und die Testdurchführung unterstützt. Die aufgebauten MVPs werden dann Kunden und Anwendern zur Validierung der getroffenen Annahmen zur Verfügung gestellt, um damit die Marktunsicherheiten, mit denen die Zielsystemelemente behaftet sind, zu reduzieren.

In der *Deskriptiven Studie 2* wurden die abgeleiteten Methoden im Rahmen zweier Fallstudien entsprechend einer Anwendungs- und Erfolgsevaluation exemplarisch unter den definierten Rahmenbedingungen der Untersuchungsumgebung validiert. Die nachstehende Abbildung 7.4 gibt einen Überblick über die beiden Fallstudien.

	Fallstudie A	Fallstudie B
Studientyp	Live-Lab Studie mit Test- und Kontrollgruppe	Feldstudie in realem Entwicklungsprojekt
Projekthalt	Entwicklung von Lösungen für Innenräume von Fahrzeugen	Entwicklung eines Prüfgeräts zur Überprüfung von Brandmeldern im Feld
Zeitraum	2020/2021 (ca. 3 Wo.)	2020 (ca. 8 Mo.)
Projektpartner	Faurecia	Hekatron Vertriebs GmbH
Rolle Autor	Methodencoach und Moderator	Projektleiter, Moderator, Methodenanwender
Umfang Methodendurchführung	Teilweise (Methode 2 & 3)	Vollständig
Anwendungsevaluation	Vollständig	Teilweise
Erfolgsevaluation	Vollständig	Vollständig

Abbildung 7.4: Übersicht und Charakterisierung der beiden Evaluationsfallstudien

Im Rahmen der Fallstudie A, die im Live-Lab Integrierte Produktentwicklung stattfand, wurden die beiden *Methoden Initiales Zielsystem erweitern* und *Initiales Zielsystem bewerten* im Sinne einer Anwendungs- und einer Erfolgsevaluation evaluiert. In diesem Zuge wurde durch eine Unterteilung in Test- und Kontrollgruppe insbesondere der Mehrwert der Methode hinsichtlich der Sensibilisierung des Bewusstseins für die vorliegenden Marktunsicherheiten analysiert.

Die Anwendbarkeit der beiden Methoden wird durch die Probanden positiv bewertet. Die Bewertung im Rahmen der Erfolgsevaluation lässt den Schluss zu, dass die zuvor identifizierten messbaren Erfolgsfaktoren positiv beeinflusst wurden. So ergibt sich im Rahmen der Bewertung hinsichtlich des messbaren Erfolgsfaktors Bewusstsein für die vorliegenden Marktunsicherheiten ein Anstieg dieser Größe bei der Testgruppe, während bei der Kontrollgruppe keine Veränderung dieser Größe festgestellt werden konnte (vgl. Abbildung 7.5). Damit konnte im Rahmen der Fallstudie A durch die Untersuchung mit Test- und Kontrollgruppe gezeigt werden, dass durch die Durchführung der *Methode Initiales Zielsystem bewerten* das Bewusstsein der Produktentwickelnden für die vorliegenden Marktunsicherheiten gesteigert werden konnte.

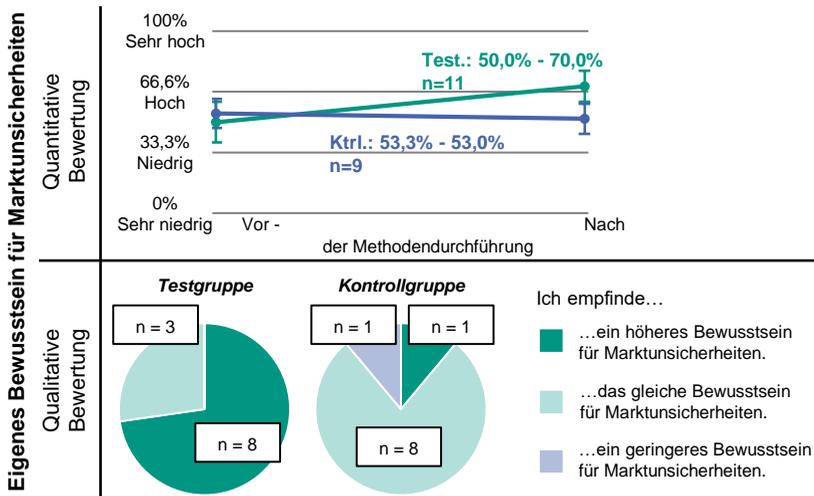


Abbildung 7.5: Veränderung des selbst wahrgenommenen Bewusstseins der Produktentwickelnden für die vorliegenden Marktunsicherheiten in der Fallstudie A; links: quantitative Bewertung des eigenen Bewusstseins; rechts: qualitative Bewertung der Veränderung des eigenen Bewusstseins

Im Zuge der Fallstudie B, die im Rahmen eines Projekts zur Entwicklung einer Lösung des anlagentechnischen Brandschutzes stattfand, wurden die vier Methoden konsekutiv durchgeführt und dabei erneut sowohl einer Anwendungs- als auch einer Erfolgsevaluation unterzogen. Dabei konnte gezeigt werden, dass alle vier Methoden die zuvor definierten messbaren Erfolgsfaktoren positiv beeinflussen. So werden beispielsweise:

- **Unsicherheiten** hinsichtlich der **Auswahl** der zu **differenzierenden Produkteigenschaften** und **Referenzsystemelemente** reduziert
- die **Vollständigkeit des Zielsystems** und der zugehörigen Zielsystemelemente gesteigert und damit Definitionslücken reduziert
- der **Handlungsbedarf zu validieren** und damit Marktunsicherheiten zu reduzieren, gesteigert
- die **Marktunsicherheit** hinsichtlich identifizierter Zielsystemelemente durch Validierung der getroffenen Annahmen reduziert und damit unzutreffende Zielsystemelemente identifiziert

Darüber hinaus wurde durch Fachexperten vor und nach der Durchführung jeder der vier Methoden die Sicherheit bewertet, dass das aus Kunden- und Anwendersicht richtige Produkt entwickelt wird, da diese Größe Rückschlüsse hinsichtlich der vorliegenden Marktunsicherheit ermöglicht. Durch diese Bewertung wird ersichtlich, dass die durchschnittliche Sicherheit kontinuierlich durch die konsekutive Anwendung der Methoden ansteigt, und dementsprechend durch jede der Methoden Marktunsicherheit reduziert wird (vgl. Abbildung 7.6).

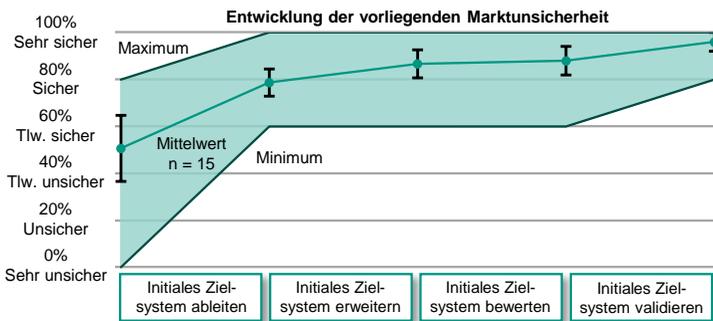


Abbildung 7.6: Vorliegende Marktunsicherheit nimmt im Rahmen der Fallstudie B bei der konsekutiven Anwendung der vier entwickelten Methoden kontinuierlich ab

Zusammenfassend bleibt damit zu resümieren, dass die Produktentwickelnden der Untersuchungsumgebung Hekatron Brandschutz über ein nur eingeschränktes Bewusstsein für die vorliegenden Marktunsicherheiten verfügen. Dies wird insbesondere durch die Diskrepanz hinsichtlich des Stellenwerts der Validierung zwischen dem Stand der Forschung (vgl. Kapitel 2) und dem geringen Stellenwert in der Untersuchungsumgebung deutlich (vgl. Kapitel 4). Durch den Einsatz der abgeleiteten Methoden (vgl. Kapitel 5), die im Rahmen der vier Aktivitäten der initialen Zielsystementwicklung – initiales Zielsystem ableiten, initiales Zielsystem erweitern, initiales Zielsystem bewerten und initiales Zielsystem validieren – bezüglich des Umgangs mit Marktunsicherheiten unterstützen, konnte ebendieses Bewusstsein der Produktentwickelnden in Bezug auf diese Marktunsicherheiten sensibilisiert und in der Folge die vorliegende Marktunsicherheit systematisch reduziert werden. Diese systematische Reduktion konnte in einer ersten Validierung unter den definierten Rahmenbedingungen der Untersuchungsumgebung exemplarisch nachgewiesen werden.

7.2 Diskussion und Übertragbarkeit der Ergebnisse

Nachfolgend werden zunächst die in Kapitel 5 beschriebenen Methoden hinsichtlich des in Kapitel 2 beschriebenen Stands der Forschung diskutiert, bevor die Übertragbarkeit der Ergebnisse auf weitere Anwendungsfälle analysiert wird.

7.2.1 Diskussion der Ergebnisse

Wie bei der Klärung des Forschungsgegenstands (vgl. Abschnitt 2.2.2.3) beschrieben, bestehen einige Ansätze zur Priorisierung von Produkteigenschaften unter Berücksichtigung der Kunden- und Anwendersicht, wie beispielsweise *Buy a feature* oder die *Befragungstechnik nach Kano*. Im Rahmen der Evaluation der *Methode Initiales Zielsystem ableiten* wurden im Zuge der Befragung Kunden und Anwender zur IST-Analyse der Fragen entsprechend dem Ansatz nach KANO in den Fragebogen integriert, um das Potential möglicher Differenzierungsmerkmale zu evaluieren. Dabei stellten die befragten Kunden und Anwender jedoch heraus, dass es für sie teilweise nicht möglich ist, diese Fragen adäquat zu beantworten, da unklar ist, wie eine „optimierte“ Lösung aussehen könnte. Durch die Beschreibung „optimierter Lösungen“ in Form von Referenzsystemelementen kann diese Evaluation, insbesondere, wenn sie im Zuge von Interviews durchgeführt wird, nach Rückmeldung der Befragten verbessert werden. Darüber hinaus ist bei der Auswahl von zu differenzierenden erlebbaren Produkteigenschaften und zugehörigen Referenzsystemelementen zu berücksichtigen, dass diese nicht, wie von der Methode unterstützt, ausschließlich unter Berücksichtigung des Kunden- und Anwendernutzens durchgeführt werden kann, sondern vielmehr der Anbieternutzen explizit berücksichtigt werden muss. Insbesondere externe Referenzsystemelemente steigern zwar den Kunden- und Anwendernutzen, führen jedoch Entwicklungsaufwände und Risiken aus Anbietersicht mit sich.

Hinsichtlich der *Methode Initiales Zielsystem erweitern* ist einzubeziehen, dass bereits eine Vielzahl von Ansätzen in der Literatur besteht (Ehrlenspiel & Meerkamm, 2013), die die Erweiterung und Konkretisierung des Zielsystems unterstützen (vgl. Abschnitt 2.2.2.2). Somit wird deutlich, dass auch die in Abschnitt 5.2 dargelegte Methode primär eine Kombination verschiedener bereits etablierter Ansätze bildet. Dabei werden durch die systematische Strukturierung von Zielsystemelementen durch modellbasierte Entwicklungsansätze Definitionslücken identifiziert, die durch die systematische Integration von Kunden und Anwendern geschlossen werden. Dabei muss jedoch berücksichtigt werden, dass auf ein möglichst diverses Spektrum von Kunden und Anwendern zurückzugriffen wird, da im Rahmen von Inter-

views – im Verhältnis zu einer fragebogenbasierten Befragung – mit gleichem Aufwand deutlich weniger Probanden berücksichtigt werden können. Folglich besteht die Gefahr, die Diversität von Kunden und Anwendern nicht ausreichend zu berücksichtigen. Darüber hinaus bildet die Methode einen entscheidenden Bestandteil für den Gesamtansatz der vorliegenden Arbeit. So werden durch das Identifizieren und Schließen von Definitionslücken Marktunsicherheiten reduziert. Ferner beschreibt die Methode eine potentielle Möglichkeit der Rekonstruktion und Adaption von Zielsystemelementen von (externen) Referenzsystemelementen.

Auch zur Identifikation von vorliegenden Unsicherheiten bestehen Ansätze wie beispielsweise die an die *Failure Mode and Effects Analysis* (kurz: FMEA) angelegte *Uncertainty Mode and Effects Analysis* (kurz: UMEA). Im Verhältnis zu der dargelegten *Methode Initiales Zielsystem bewerten* jedoch ist zu beachten, dass die Methoden und Ansätze meist nicht explizit auf die Adressierung von Marktunsicherheiten ausgelegt sind, sondern vielmehr Unsicherheit als Gesamtes betrachten. Darüber hinaus fehlen Ansätze zur systematischen Evaluation von Zielsystemelementen. So bauen die meisten bereits bestehenden Ansätze auf eine Bewertung des Gesamtsystems und erschweren damit die Identifikation der vorliegenden Unsicherheiten. Durch die einheitliche Formulierung von Zielsystemelementen in eine an User-Stories angelegte Form hingegen wird eine systematische Bewertung ebendieser ermöglicht und damit die Identifikation von Unsicherheiten, respektive die Identifikation von Zielsystemelementen, die mit Unsicherheiten behaftet sind, unterstützt. Dabei gilt es zu berücksichtigen, dass bisher keine Gewichtung der identifizierten Einflussfaktoren zur Bewertung der Zielsystemelemente hinterlegt wurde, da hierfür keine Anhaltspunkte vorliegen. Eventuell sollten künftig eine derartige Gewichtung oder weitere Anpassungen der Einflussfaktoren vorgenommen werden, um die Methode beispielsweise entsprechend dem Einsatzkontext anzupassen.

Im Kontext der *Methode Initiales Zielsystem validieren* werden Minimum Viable Products entsprechend den vorliegenden Rahmenbedingungen und dem Validierungsziel ausgewählt, wobei die Idee zum Aufbau von MVPs und auch die verschiedenen MVPs bereits in der Literatur beschrieben sind. So bestehen Ansätze zur systematischen Auswahl von MVPs wie beispielsweise von BLAND und OSTERWALDER (2020) dargelegt. Indes gilt es zu berücksichtigen, dass bestehenden Auswahlstrategien vorrangig die Analyse von Rahmenbedingungen wie Aufwand oder verfügbare Ressourcen zugrunde gelegt werden und das Ziel der Validierung nicht explizit berücksichtigt wird. Folglich wird im Rahmen der dargestellten Auswahlstrategie explizit die Analyse und Synthese des Validierungsziels berücksichtigt, wobei zur Unterstützung der SPALTEN-Prozess der Validierung zur Strukturierung der Auswahl und des Aufbaus von Validierungsmethoden und -umgebungen angewendet wird.

Ferner muss einbezogen werden, dass MVPs aus der Softwareentwicklung stammen, dementsprechend wurde im Rahmen der Erstellung der Steckbriefe, insbesondere der Aufbau der MVPs und wie der beschriebene Ansatz im Kontext der Entwicklung physischer Produkte zu verwenden ist, adressiert. Um den Erfahrungsgewinn hinsichtlich des Aufbaus physischer MVPs zu beschleunigen, wurde eine Datenbank erstellt, die auf den entsprechenden Steckbriefen verlinkt ist. Im Rahmen dieser können „best practices“ abgelegt werden, die dann wiederum als Referenzsystemelemente für den weiteren Aufbau entsprechender MVPs dienen.

7.2.2 Übertragbarkeit der Ergebnisse

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurde ein Großteil der beschriebenen Studien im Kontext der in Abschnitt 3.2.3 dargelegten Forschungsumgebung durchgeführt. Nachfolgend soll analysiert werden, inwiefern die Ergebnisse auf andere Anwendungsfälle übertragbar sind. Zu diesem Zweck wird das Modell zur Strukturierung der verschiedenen Einflussbereiche auf die Produktentwicklung nach HALES und GOOCH (2004) herangezogen (vgl. Abbildung 7.7). Gemäß diesem Modell lassen sich die relevanten Kontextfaktoren fünf verschiedenen Kontextebenen zuordnen.

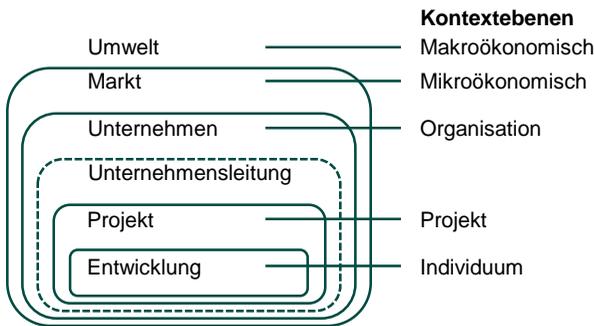


Abbildung 7.7: Kontextebenenmodell nach HALES und GOOCH (2004); zitiert in Anlehnung an (VDI 2221, S. 11)

WILMSEN, DUEHR UND ALBERS (2019) konkretisieren das zuvor dargestellte Modell durch spezifische Faktoren. Eine Auswahl dieser Einflussfaktoren wird nachfolgend analysiert, um Aussagen hinsichtlich der Übertragbarkeit der zuvor dargestellten Ergebnisse zu ermöglichen (vgl. Tabelle 7.1).

Tabelle 7.1: Faktorbasierte Bewertung der Übertragbarkeit der Ergebnisse hinsichtlich weiterer Anwendungsfälle

Kontextebene	Einflussfaktor und Bewertung der Übertragbarkeit
	<p>Marktdynamik</p> <ul style="list-style-type: none"> • Stellt eine zentrale Ursache für Marktunsicherheit dar (vgl. Abbildung 2.42) und steigert damit die Relevanz der gefundenen Methoden. • Dabei wird kein direkter Einfluss hinsichtlich der Übertragbarkeit der ermittelten Ergebnisse ersichtlich.
Markt (Mikroökonomie)	<p>Marktposition & Etablierung im Markt</p> <ul style="list-style-type: none"> • Die gefundenen Methoden sind insbesondere für Innovatoren von Relevanz. • (Fast) Follower können durch die Verwendung externer Referenzsystemelemente, z.B. Elemente von Innovatoren, gut Rückschlüsse hinsichtlich der sich einstellenden Zufriedenheit ziehen. Die Herausforderungen verschieben sich vor allem in Richtung der monetären Bewertung von Produkten aus Kundensicht.
	<p>Globalisierung des Produkts</p> <ul style="list-style-type: none"> • Stellt eine Hürde hinsichtlich des Umgangs mit Marktunsicherheiten dar, da anzunehmen ist, dass mit steigender Globalisierung auch die Diversität der Kunden und Anwender steigt. • Damit auch eine potentielle Hürde hinsichtlich der Übertragbarkeit der gefundenen Methoden.
	<p>Kundenstruktur</p> <ul style="list-style-type: none"> • Die Diversität der Kundenstruktur erschwert sowohl die Definition als auch die Validierung der Produkte. Folglich ergeben sich Unterschiede zwischen B2B- und B2C-orientierten Unternehmen. • Eine hohe Diversität der Kunden erschwert die Übertragbarkeit der Methoden.
	<p>Branche & Einfluss der normativen Welt</p> <ul style="list-style-type: none"> • Im Rahmen der <i>Deskriptiven Studie 1</i> wurde angeführt, dass ein großer Einfluss der normativ geprägten Branche hinsichtlich des (geringen) Bewusstseins für vorliegende Unsicherheiten besteht. • Folglich stellen die Branche und die damit einhergehenden Rahmenbedingungen einen relevanten Faktor hinsichtlich der Übertragbarkeit der Ergebnisse der beiden deskriptiven Studien dar, wobei allerdings keine pauschalen Aussagen möglich sind.
Unternehmen (Organisation)	<p>Grad der bereichsübergreifenden Zusammenarbeit</p> <ul style="list-style-type: none"> • Stellt beim Umgang mit Marktunsicherheit und hinsichtlich der dargelegten Methoden einen entscheidenden Erfolgsfaktor dar. • Eine etwaige Übertragbarkeit der Methoden basiert auf einem interdisziplinär gestalteten Handlungssystem.

	<p>Durchschnittliche Time-to-Market</p> <ul style="list-style-type: none"> • Stellt eine zentrale Ursache für Marktunsicherheit dar (vgl. Abbildung 2.42) und steigert damit die Relevanz der gefundenen Methoden. • Dabei wird kein direkter Einfluss hinsichtlich der Übertragbarkeit der ermittelten Ergebnisse ersichtlich. <p>Präsenz der Kunden im Entwicklungsprozess</p> <ul style="list-style-type: none"> • Stellt beim Umgang mit Marktunsicherheit und hinsichtlich der dargelegten Methoden einen entscheidenden Erfolgsfaktor dar. • Eine etwaige Übertragbarkeit der Methoden basiert auf ausreichender Kunden- und Anwenderintegration <p>Reaktionsfähigkeit von Geschäftspartnern</p> <ul style="list-style-type: none"> • Insbesondere beim Aufbau physischer MVPs zur Validierung ist die Reaktionsfähigkeit von Zulieferern von Bedeutung. <p>Weitere relevante Einflussfaktoren der Ebene, welche zumindest indirekt Einfluss auf die Übertragbarkeit der Ergebnisse haben</p> <p>Unternehmensgröße, durchschnittliche Feldzeit der Produkte, Unterstützung der Methodenanwendung, Ausprägung Fehlerkultur.</p>
Projekt (Projekt)	<p>Neuentwicklungsanteil</p> <ul style="list-style-type: none"> • Stellt eine zentrale Ursache für Marktunsicherheit dar (vgl. Abbildung 2.42) und steigert damit die Relevanz der gefundenen Methoden. <p>Komplexität des Produkts</p> <ul style="list-style-type: none"> • Stellt eine zentrale Ursache für Marktunsicherheit dar (vgl. Abbildung 2.42) und steigert damit die Relevanz der gefundenen Methoden. • Dabei wird kein direkter Einfluss hinsichtlich der Übertragbarkeit der ermittelten Ergebnisse ersichtlich. <p>Ausrichtung auf gemeinsame Ziele</p> <ul style="list-style-type: none"> • Stellt beim Umgang mit Marktunsicherheit und hinsichtlich der dargelegten Methoden einen entscheidenden Erfolgsfaktor dar. <p>Flexibilität der Prozessgestaltung</p> <ul style="list-style-type: none"> • Stellt eine notwendige Bedingung für Anwendbarkeit der Methoden dar, da diese situations- und bedarfsgerecht anzuwenden sind. • Darüber hinaus können durch Methodenergebnisse Iterationen notwendig werden. <p>Adaptivität des Zielsystems</p> <ul style="list-style-type: none"> • Stellt eine notwendige Bedingung der Anwendbarkeit und damit der Übertragbarkeit der Methoden auf andere Anwendungen dar. <p>Traceability von Anforderungen</p> <ul style="list-style-type: none"> • Unterstützt langfristig die Anwendbarkeit der Methoden. <p>Bedeutung der frühen und kontinuierlichen Validierung</p> <ul style="list-style-type: none"> • Stellt hinsichtlich der Methoden und allgemein beim Umgang mit Marktunsicherheiten einen Erfolgsfaktor dar.
Entwicklung (Individuum)	<p>Ausprägung der Methodenkompetenz, Kreativitätspotential, Aufgeschlossenheit gegenüber neuen Methoden, Erfahrung der Mitarbeitenden, Bereitschaft zur Veränderung, Experimentierfreude</p> <ul style="list-style-type: none"> • Sämtliche der auf der Ebene dargestellten Einflussfaktoren stellen Erfolgsfaktoren für die Implementierung von Methoden und damit auch für die Übertragbarkeit der beschriebenen Methoden dar.

Dementsprechend kann hinsichtlich der Übertragbarkeit der Ergebnisse der *Deskriptiven Studie 1*, im Rahmen derer der Forschungsbedarf der vorliegenden Arbeit weiter spezifiziert wurde, resümiert werden, dass diese insbesondere von den Faktoren der äußeren Ebenen (Mikroökonomie und Organisation) abhängig ist, wobei keine pauschalen Aussagen hinsichtlich der Ausprägung der Faktoren möglich sind. So ist beispielsweise anzunehmen, dass in Start-Ups prinzipiell ein höheres Bewusstsein für Marktunsicherheiten vorliegen muss, damit diese eine Chance haben, sich am Markt zu etablieren, oder beispielsweise im Bereich der Sicherheitstechnik ein hohes Bewusstsein gegenüber Unsicherheiten, die den Ausfall sicherheitsrelevanter Komponenten bedeuten würden, vorliegen muss, jedoch weniger gegenüber Marktunsicherheiten. Folglich wird auch der Stellenwert des Umgangs mit derartigen Unsicherheiten in diesen Branchen größer sein, als der Stellenwert zum Umgang mit Marktunsicherheiten. Allerdings ist das Bewusstsein für Unsicherheiten stark von den persönlichen Eigenschaften der Produktentwickelnden abhängig und damit auch der Umgang mit diesen. Ferner gilt es, hinsichtlich der Übertragbarkeit der Ergebnisse der *Deskriptiven Studie 1* anzumerken, dass bereits gezeigt werden konnte, dass unabhängig der Branche vergleichbare Herausforderungen in Bezug auf das Zielsystemmanagement auftreten.

Bezüglich der Übertragbarkeit der dargelegten Methoden und des in der *Deskriptiven Studie 2* ermittelten Nutzens ebendieser lässt sich feststellen, dass dies auf jeden Fall partiell möglich sein sollte. Wie zuvor in Tabelle 7.1 dargelegt, bestehen Faktoren wie beispielsweise die **Adaptivität des Zielsystems**, die eine grundlegende Voraussetzung für die Anwendbarkeit der Methoden darstellt, oder Faktoren wie z.B. die **Aufgeschlossenheit der Produktentwickelnden gegenüber neuen Methoden**, die den Einsatz der Methoden auch in anderen Anwendungsfällen unterstützen. Um die situations- und bedarfsgerechte Anwendung der Methoden zu gewährleisten, gilt es allerdings zunächst, den Einsatzkontext zu analysieren und die Methoden darauf aufbauend bei Bedarf entsprechend anzupassen. Auch die zuvor beschriebenen Einschränkungen hinsichtlich der Relevanz des Umgangs mit Marktunsicherheiten in verschiedenen Untersuchungsumgebungen stellen wiederum einen Einflussfaktor hinsichtlich der Übertragbarkeit der dargelegten Methoden bzw. hinsichtlich des erzielten Mehrwerts dar.

Zusammengefasst kann gleichwohl übergreifend angenommen werden, dass die Übertragbarkeit der Ergebnisse auch auf andere Anwendungsfälle partiell möglich ist.

7.3 Ausblick

Im Rahmen der Arbeit konnten Rückschlüsse hinsichtlich des Umgangs mit Marktunsicherheiten abgeleitet werden. Dabei konnte die Wirksamkeit der Methoden der Zielsystementwicklung hinsichtlich der Sensibilisierung des Bewusstseins von Produktentwickelnden für diese Marktunsicherheiten durch eine Analyse mit Test- und Kontrollgruppe initial bestätigt werden. Auch die Reduktion der vorliegenden Marktunsicherheiten durch die entwickelten Methoden konnte initial unter den definierten Rahmenbedingungen der Untersuchungsumgebungen nachgewiesen werden. Mit Hilfe der zuvor dargestellten Bewertung der Übertragbarkeit kann angenommen werden, dass diese Ergebnisse verallgemeinerbar sind. Allerdings ist dies durch weitere empirische Untersuchungen zu verifizieren oder zu falsifizieren – wobei es ein tiefergehendes Verständnis hinsichtlich der relevanten Zusammenhänge aufzubauen gilt.

Überdies gilt es, im Hinblick auf einen ganzheitlichen Ansatz des Zielsystemmanagements Methoden abzuleiten, die beim Verwalten und Dokumentieren von Zielen und Anforderungen hinsichtlich des Umgangs mit Marktunsicherheiten unterstützen. Hierbei ist insbesondere die generationsübergreifende Nachverfolgbarkeit der Zielsystemelemente und der zugehörigen Marktunsicherheiten von Relevanz. Folglich muss die generationsübergreifende Wiederverwendbarkeit von Zielsystemelementen unter Berücksichtigung der vorliegenden Marktunsicherheiten untersucht werden, wobei insbesondere eine Analyse zur generationsübergreifenden Evolution von Marktunsicherheit relevant ist.

Wie in Abschnitt 2.3 beschrieben, sind Unsicherheiten sehr vielfältig und treten in unterschiedlichen Formen und Ausprägungen zu verschiedenen Zeitpunkten in der Produktentwicklung auf. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurde der Fokus hinsichtlich Marktunsicherheiten gesetzt. Dabei kann modellhaft das Auftreten von Marktunsicherheiten als Definitions- und Wissenslücken, die im Rahmen des Wissenstransfers zwischen Kunden bzw. Anwendern sowie Produktentwickelnden auftreten, beschrieben werden. Demnach wird aktuell in weiteren Forschungsarbeiten am IPEK – Institut für Produktentwicklung analysiert, wie der Wissenstransfer an weiteren Schnittstellen der Produktentwicklung, beispielsweise Produktionssystementwicklung, Dienstleistungsentwicklung, Integration von Zulieferern etc. zu gestalten bzw. zu unterstützen ist und inwiefern die im Rahmen dieser Arbeit generierten Erkenntnisse übertragbar sind. Insbesondere die Rolle des Referenzsystems und die Abbildung von Referenzen sind hierbei für den Umgang mit Unsicherheiten

von besonderer Relevanz. Darüber hinaus bildet die frühe Validierung beim Umgang mit vorliegenden Wissenslücken einen entscheidenden zu untersuchenden Stellhebel.¹⁰⁰

Marktunsicherheiten können unter anderem aus unvorhersehbaren Marktzuständen oder auch Veränderungen des Markts, also der relevanten Kunden- und Anwenderbedürfnisse resultieren (vgl. Abbildung 2.42). Im Rahmen dieser Arbeit konnte gezeigt werden, dass durch die Verwendung von Referenzsystemelementen und der systematischen Auswahl ebendieser unter Berücksichtigung der Kunden- und Anwenderzufriedenheit Marktunsicherheit reduziert werden kann. Großes Potential besteht dahingehend in der Verwendung von Szenarien, insbesondere wenn die zu planende Produktgeneration erst deutlich später in den Markt eingeführt werden soll (z.B. G_{n+3}). Szenarien können einerseits für eine zukunftsrobuste Auswahl von Referenzsystemelementen und andererseits zur systematischen Validierung des Zielsystems eingesetzt werden. Hierbei besteht Potential für eine Systematik, die Rückschlüsse hinsichtlich des Marktpotentials von zu entwickelnden Produktgenerationen, beispielsweise auf Basis der Ausprägung von Schlüsselfaktoren, ermöglicht. Somit könnte die Systematik genutzt werden, um im Rahmen der Produktentwicklung Validierungsaktivitäten auf Basis von Veränderungen des Markts bzw. der Schlüsselfaktoren zu planen. Dieser Aspekt wird in einer weiteren auf dieser aufbauenden Forschungsarbeit am IPEK – Institut für Produktentwicklung beleuchtet.¹⁰¹

Darüber hinaus ist Potential durch einen datenbasierten Umgang mit Marktunsicherheiten erkennbar. Dies ist für zwei weitere Felder von Relevanz. So gilt es einerseits, gezielt die Algorithmen der Methoden durch datenbasierte Analysen anzupassen und andererseits die Methodenanwendung durch Daten zu unterstützen.

Hinsichtlich der datenbasierten Anpassung der Methoden ist in Bezug auf die Methode zur Unterstützung der Aktivität initiales Zielsystem bewerten zu erwähnen, dass beispielsweise aufbauend auf einer datenbasierten Analyse von Zielsystemelementen verschiedener Produktgenerationen Muster hinsichtlich der Ausprägung der Einflussfaktoren identifiziert werden können, die eine direkte Implikation hinsichtlich der vorliegenden Marktunsicherheit bzw. der entsprechenden Bedeutung zulassen. Auf Basis derartiger Muster könnte beispielsweise eine Gewichtung der Einflussfaktoren vorgenommen werden, die auf Basis des aktuellen Wissensstands nicht gerechtfertigt ist, oder die Auswahl der Einflussfaktoren angepasst werden.

¹⁰⁰ Promotionsvorhaben Kempf und Promotionsvorhaben Klippert

¹⁰¹ Promotionsvorhaben Thümmel

Des Weiteren bestehen Potentiale bei der Methodenanwendung hinsichtlich eines datenbasierten Umgangs mit Marktunsicherheiten. So wird im Anschluss an diese Arbeit beispielsweise für die *Methode Initiales Zielsystem ableiten* eine produktportfolioübergreifende Datenbank mit Referenzsystemelementen angelegt. Durch die vielfache Bewertung der Referenzsystemelemente zu verschiedenen Zeitpunkten und im Kontext verschiedener Produktgenerationen wird es möglich, auf den Zusammenhang zwischen Referenzsystemelementen und die Ausprägung der Zufriedenheit von Kunden und Anwendern zu schließen. Folglich kann eine unterstützte Auswahl der Referenzsystemelemente stattfinden. Überdies können langfristig Rückschlüsse hinsichtlich der Entwicklung der Zufriedenheit gezogen werden, die durch ein Referenzsystemelement entsprechend der Zeit erzielt werden kann.

Darüber hinaus sind Potentiale bezüglich der Nutzung von Daten insbesondere zur Unterstützung der frühen Validierung im Kontext der Zielsystementwicklung zu nennen. So steht entwickelnden Unternehmen durch die steigende Vernetzung der Produkte auch mit Internet-of-Things-Anwendungen heute bereits eine Vielzahl von Daten zur Verfügung, die Rückschlüsse hinsichtlich der Anwendung der Produkte im Feld zulassen. Diese Daten bieten enormes Potential bezüglich einer frühen Validierung insbesondere im Hinblick auf die zunehmende Globalisierung von Produkten, wobei Daten von Referenzsystemelementen wie beispielsweise vorherige Produktgenerationen zur Validierung von Zielsystemen künftiger Produktgenerationen genutzt werden können. So wird im Rahmen einer auf dieser Arbeit aufsetzenden Forschungsarbeit am IPEK – Institut für Produktentwicklung in Kooperation mit dem Unternehmen Trumpf Werkzeugmaschinen GmbH & Co. KG ein Ansatz zur frühen datengetriebenen Validierung von Zielsystemen in der agilen Baukastenentwicklung zur Unterstützung beim Umgang mit Marktunsicherheiten erarbeitet.¹⁰²

¹⁰² Promotionsvorhaben Wagenmann

Literaturverzeichnis

- 610.12-1990 (1990). *610.12-1990 IEEE Standard Glossary of Software Engineering Terminology*. New York: IEEE / Institute of Electrical and Electronics Engineers Incorporated.
- Ahmed, S. (2007). Empirical research in engineering practice. *International Journal of Design Research*, 6(3), S. 359–380.
<https://doi.org/10.1504/JDR.2007.016389>
- Albers, A. (1994). Simultaneous Engineering, Projektmanagement und Konstruktionsmethodik - Werkzeuge zur Effizienzsteigerung. In VDI Verein Deutscher Ingenieure e.V. (Hrsg.), *Entwicklung und Konstruktion im Strukturwandel. Fulda, 6. und 7. Juni 1994* (VDI-Berichte, Bd. 1120, S. 73–105). Düsseldorf: VDI-Verl.
- Albers, A. (2010). Five Hypotheses about Engineering Processes and their Consequences. In I. Horváth & Mandorli, F., Rusák, Z. (Hrsg.), *Tools and methods of competitive engineering. Proceedings of the Eighth International Symposium on Tools and Methods of Competitive Engineering - TMCE 2010, April 12 - 16, Ancona, Italy* (S. 343–356). Ancona, Italien: Faculty of Industrial Design Engineering Univ. of Technology.
- Albers, A., Behrendt, M., Klingler, S. & Matros, K. (2016). Verifikation und Validierung im Produktentstehungsprozess. In U. Lindemann (Hrsg.), *Handbuch Produktentwicklung* (S. 541–569). München: Hanser.
<https://doi.org/10.3139/9783446445819.019>
- Albers, A., Behrendt, M., Klingler, S., Reiß, N. & Bursac, N. (2017). Agile product engineering through continuous validation in PGE – Product Generation Engineering. *Design Science*, 3(5), S. 16–35. <https://doi.org/10.1017/dsj.2017.5>
- Albers, A. & Braun, A. (2011a). Der Prozess der Produktentstehung. In F. Henning & E. Moeller (Hrsg.), *Handbuch Leichtbau. Methoden, Werkstoffe, Fertigung* (S. 5–30). München: Hanser.
- Albers, A. & Braun, A. (2011b). A Generalised Framework to Compass and to Support Complex Product Engineering Processes. *International Journal of Product Development*, 15(1/2/3), S. 6–25. <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 P. Heisig, P. J. Clarkson & S. Vajna (Hrsg.), *Modelling and Management of Engineering Processes* (S. 15–26). London: Springer-Verlag. https://doi.org/10.1007/978-1-84996-199-8_2

- Albers, A., Burkardt, N., Meboldt, M. & Saak, M. (2005). SPALTEN Problem Solving Methodology in the Product Development. In A. E. Samuel (Hrsg.), *Engineering design and the global economy. 15th International Conference on Engineering Design - ICED 05, 15 - 18 August 2005, Melbourne, Australia* (S. 1–12). Melbourne: The Design Society.
- 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 M. E. Auer, D. Guralnick & I. Simonics (Hrsg.), *Teaching and learning in a digital world. Proceedings of the 20th International Conference on Interactive Collaborative Learning; Budapest, Hungary, 27–29 September 2017* (Advances in intelligent systems and computing, Bd. 716, S. 636–647). Cham, Switzerland: Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-73204-6_69
- Albers, A., Bursac, N. & Rapp, S. (2016). PGE - Product Generation Engineering - Case Study of the Dual Mass Flywheel. In D. Marjanović, M. Štorga, N. Pavković, N. Bojčetić & S. Škec (Hrsg.), *Proceedings of the 14th International Design Conference (DESIGN) 2016. Processes, Management & Systems Engineering* (S. 791–800). Dubrovnik, Kroatien.
- Albers, A., Bursac, N., Walter, B., Hahn, C. & Schröder, J. (2016). ProVIL - Produktentwicklung im virtuellen Ideenlabor. In R. H. Stelzer (Hrsg.), *Entwerfen Entwickeln Erleben 2016 - Beiträge zur virtuellen Produktentwicklung und Konstruktionstechnik. Dresden, 30. Juni - 1. Juli 2016* (S. 185–198). Dresden: TU-Dress.
- Albers, A., Bursac, N. & Wintergerst, E. (2015). Produktgenerationsentwicklung - Bedeutung und Herausforderungen aus einer entwicklungsmethodischen Perspektive. In H. Binz, B. Bertsche, W. Bauer & D. Roth (Hrsg.), *Stuttgarter Symposium für Produktentwicklung (SSP) 2015. Entwicklung smarter Produkte für die Zukunft (o. S.)*. Stuttgart: Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation.
- Albers, A. & Düser, T. (2008, 23. September). *Integrierte Validierungsumgebung für energieeffiziente Fahrerassistenzsysteme am Rollenprüfstand*. IPG Technology Conference 2008, Ettlingen, Germany. <https://doi.org/10.5445/IR/1000011736>
- Albers, A. & Düser, T. (2011). Validierung im Produktentstehungsprozess. In F. Henning & E. Moeller (Hrsg.), *Handbuch Leichtbau. Methoden, Werkstoffe, Fertigung* (S. 133–141). München: Hanser.
- Albers, A., Ebel, B. & Alink, T. (2011). Erfolgsfaktoren der Interdisziplinarität. Ein Bericht. In G. Banse & L.-G. Fleischer (Hrsg.), *Wissenschaft im Kontext. Inter-*

und Transdisziplinarität in Theorie und Praxis (Abhandlungen der Leibniz-Sozi-
etät der Wissenschaften Berlin, Bd. 27, 1. Aufl., S. 203–214). Berlin: trafo-
Wiss.-Verl.

- Albers, A., Ebel, B. & Lohmeyer, Q. (2012). Systems of Objectives in Complex Product Development. In I. Horváth, A. Albers, M. Behrendt & Z. Rusák (Hrsg.), *Proceedings of the Ninth International Symposium on Tools and Methods of Competitive Engineering, TMCE 2012, May 7 - 11, 2012, Karlsruhe, Germany* (S. 267–278). Delft: Faculty of Industrial Design Engineering Delft University of Technology.
- Albers, A., Ebel, B. & Sauter, C. (2010). Combining Process Model and Semantic Wiki. In D. Marjanović, M. Štorga, N. Pavković & N. Bojčetić (Hrsg.), *Proceedings of DESIGN 2010, the 11th International Design Conference, Dubrovnik, Croatia. 11th International Design Conference, Dubrovnik - Croatia, May 17 - 20, 2010* (S. 1275–1284). Zagreb: Design Society.
- Albers, A., Ebertz, J., Rapp, S., Heimicke, J., Kürten, C., Zimmermann, V., Bause, K. & Blattner, R. (2020). *Produktgeneration 1 im Modell der PGE – Produktgenerationsentwicklung: Verständnis, Zusammenhänge und Auswirkungen in der Produktentwicklung* (KIT Scientific Working Papers, Bd. 149). Karlsruhe: Karlsruher Institut für Technologie (KIT). <https://doi.org/10.5445/IR/1000127971>
- 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 K. Mpofo & P. Butala (Hrsg.), *Procedia CIRP. 30th CIRP Conference on Design (CIRP Dn 2020) Enhancing design through the 4th Industrial Revolution Thinking* (Bd. 91, S. 665–677). <https://doi.org/10.1016/j.procir.2020.03.113>
- Albers, A., Fischer, J., Klingler, S. & Behrendt, M. (2014, 27. Mai). *Durchgängige Validierung und Verifizierung am Beispiel der akustischen Eigenschaften eines Elektrofahrzeugs*, Konferenzvortrag. 7. Grazer Symposium Virtuelles Fahrzeug (GSVF 2014), Graz, Austria.
- Albers, A., Geier, M., Merkel, P. & Ott, S. (2009). Validation of powertrain systems on the example of real and virtual investigations of a dual mass flywheel in the X-in-the-Loop (XiL) environment. *8. Internationales CTI Symposium Innovative Fahrzeug-Getriebe, Berlin, 1. und 2. Dezember 2009*, o. S.
- Albers, A., Gladysz, B., Heitger, N. & Wilmsen, M. (2016). Categories of Product Innovations – A Prospective Categorization Framework for Innovation Projects in Early Development Phases Based on Empirical Data. In L. Wang & T. Kjellberg (Hrsg.), *Procedia CIRP. Proceedings of 26th CIRP Design Conference* (Bd. 50, S. 135–140). Stockholm, Schweden. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.04.197>

- Albers, A., Haug, F., Heitger, N., Arslan, M., Rapp, S. & Bursac, N. (2016). Produktgenerationsentwicklung - Praxisbedarf und Fallbeispiel in der automobilen Produktentwicklung. In J. Gausemeier (Hrsg.), *12. Symposium für Vorschau und Technologieplanung (SVT), Berlin, 8.-9. Dezember 2016*. (Verlagschriftenreihe des Heinz Nixdorf Instituts, Paderborn, Bd. 360). Paderborn: Heinz Nixdorf Institut.
- Albers, A., Heimicke, J., Hirschter, T., Richter, T., Reiß, N., Maier, A. & Bursac, N. (2018). Managing Systems of Objectives in the agile Development of Mechatronic Systems by ASD - Agile Systems Design. In P. Ekströmer, S. Schütte & J. Ivander (Hrsg.), *Proceedings of NordDesign 2018. Design in the Era of Digitalization, NordDesign 2018* (n. p.). Linköping, Schweden: The Design Society.
- Albers, A., Heimicke, J., Spadinger, M., Reiß, N., Breitschuh, J., Richter, T., Bursac, N. & Marthaler, F. (2019a). *Eine Systematik zur situationsadäquaten Mechatroniksystementwicklung durch ASD - Agile Systems Design* (KIT Scientific Working Papers, Bd. 113). Karlsruhe: Karlsruher Institut für Technologie (KIT). <https://doi.org/10.5445/IR/1000091847>
- Albers, A., Heimicke, J., Spadinger, M., Reiß, N., Breitschuh, J., Richter, T., Bursac, N. & Marthaler, F. (2019b). A systematic approach to situation-adequate mechatronic system development by ASD - Agile Systems Design. In G. D. Putnik (Hrsg.), *Procedia Cirp. 29th CIRP Design Conference 2019, 08-10 May 2019, Póvoa de Varzim, Portugal* (Bd. 84, S. 1015–1022). <https://doi.org/10.1016/j.procir.2019.03.312>
- Albers, A., Heimicke, J. & Trost, S. (2020). Effects and Interactions of agile Principles in the Process of Mechatronic System Development: Building a basic Understanding for adaptive Process Design. In N. H. Mortensen, C. T. Hansen & M. Deininger (Hrsg.), *Proceedings of NordDesign 2020, Lyngby, Denmark, 12th - 14th August 2020. Balancing Innovation and Operation* (NordDESIGN, n. p.). Lyngby, Denmark: The Design Society. <https://doi.org/10.35199/NORD-DESIGN2020.22>
- Albers, A., Heimicke, J., Trost, S. & Spadinger, M. (2020). Alignment of the change to agile through method-supported evaluation of agile principles in physical product development. In K. Mpofu & P. Butala (Hrsg.), *Procedia CIRP. 30th CIRP Conference on Design (CIRP Dn 2020) Enhancing design through the 4th Industrial Revolution Thinking* (Bd. 91, S. 600–614). <https://doi.org/10.1016/j.procir.2020.02.218>
- Albers, A., Heimicke, J., Walter, B., Basedow, G. N., Reiß, N., Heitger, N., Ott, S. & Bursac, N. (2018). Product Profiles: Modelling customer benefits as a foundation to bring inventions to innovations. In F. Laroche & A. Bernard (Hrsg.),

- Procedia CIRP. 28th CIRP Design Conference 2018, 23-25 May 2018, Nantes, France* (Bd. 70, S. 253–258). <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 *Proceedings of R&D Management Conference 2018. R&Designing Innovation: Transformational Challenges for Organizations and Society; Milan, Italy - 30th June/04th July 2018* (n. p.). Mailand, Italien.
- Albers, A., Klingler, S. & Ebel, B. (2013). Modeling Systems of Objectives in Engineering Design Practice. In U. Lindemann, Yong Se Kim, Srinivasan V, Sang Won Lee, J. Clarkson & G. Cascini (Hrsg.), *Proceedings of the 19th International Conference on Engineering Design (ICED 13) Design for harmonies; 19th - 22nd August 2013, Sungkyunkwan University (SKKU), Seoul, Korea* (Bd. 75, S. 379–388). Glasgow, Schottland: Design Society.
- Albers, A., Klingler, S., Pinner, T. & Behrendt, M. (2015). Ein Beitrag zur Beschreibung und Kategorisierung von Validierungsaktivitäten. In H. Binz, B. Bertsche, W. Bauer & D. Roth (Hrsg.), *Stuttgarter Symposium für Produktentwicklung (SSP) 2015. Entwicklung smarterer Produkte für die Zukunft (o. S.)*. Stuttgart: Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation.
- Albers, A., Klingler, S. & Wagner D. (2014). Prioritization of Validation Activities in Product Development Process. In D. Marjanović, M. Štorga, N. Pavković & N. Bojčetić (Hrsg.), *Proceedings of the DESIGN 2014 13th International Design Conference*, (S. 81–90). Dubrovnik, Kroatien.
- Albers, A., Lohmeyer, Q. & Ebel, B. (2011). Dimensions of Objectives in Interdisciplinary Product Development Projects. In S. J. Culley, B. J. Hicks, T. C. McAloone, T. J. Howard, Y. Reich & S. J. Culley (eds.), *Proceedings of the 18th International Conference on Engineering Design (ICED 11), Impacting Society through Engineering Design, Vol. 2: Design Theory and Research Methodology, 15th-18th August 2011, Kobenhavn*, (vol. 2, S. 256–265). Kopenhagen: Design Society.
- Albers, A., Lüdcke, R., Bursac, N. & Reiß, N. (2014). Connecting Knowledge-Management-Systems to Improve a Continuous Flow of Knowledge in Engineering Design Processes. In I. Horváth (Hrsg.), *Tools and methods of competitive engineering. Digital proceedings of the Tenth International Symposium on Tools and Methods of Competitive Engineering - TMCE 2014, May 19 - 23, Budapest, Hungary* (pp. 393–402). Delft: Faculty of Industrial Design Engineering Delft University of Technology. <https://doi.org/10.13140/2.1.4612.9447>

- Albers, A., Matros, K., Behrendt, M., Holzer, H., Bohne, W. & Ars, H. (2018). Darstellung und Bewertung von Hybridantrieben mit einem Hybrid-Erlebnis-Prototypen. In J. Liebl & G. Rainer (Hrsg.), *VPC.plus 2014. Simulation und Test für die Antriebsentwicklung 16. MTZ-Fachtagung* (S. 207–223). Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden. https://doi.org/10.1007/978-3-658-23775-2_13
- Albers, A., Matros, K., Behrendt, M. & Jetzinger, H. (2015). Das Pull-Prinzip der Validierung. Ein Referenzmodell zur effizienten Integration von Validierungsaktivitäten in den Produktentstehungsprozess. *VDI Konstruktion*, (6), S. 74–81.
- Albers, A. & Meboldt, M. (2006). A new Approach in Product Development, based on systems engineering and systematic problem solving. In V. Vanek (Hrsg.), *Proceedings of AEDS 2006 Workshop. 15th Workshop on Applied Engineering Design Science, AEDS 2006; Pilsen; Czech Republic; 27 October 2006 through 28 October 2006* (S. 5–12). The Design Society.
- Albers, A. & Meboldt, M. (2007). IPEMM – Integrated Product Development Process Management Model, Based on Systems Engineering and Systematic Problem Solving. In Bocquet & J.-C. (Hrsg.), *Proceedings of ICED 2007, the 16th International Conference on Engineering Design, Paris, France, 28.-31.07.2007* (S. 611–612). Paris, Frankreich: The Design Society.
- Albers, A., Muschik, S. & Ebel, B. (2010). Einflüsse auf Entscheidungsprozesse in frühen Aktivitäten der Produktentstehung. In J. Gausemeier (Hrsg.), *6. Symposium für Vorausschau und Technologieplanung (SVT)* (Verlagsschriftenreihe des Heinz Nixdorf Instituts, Paderborn, S. 276–282). Paderborn: Heinz Nixdorf Institut.
- Albers, A. & Rapp, S. (2022). Model of SGE: System Generation Engineering as Basis for Structured Planning and Management of Development. In D. Krause & E. Heyden (Hrsg.), *Design Methodology for Future Products. Data Driven, Agile and Flexible* (Springer eBook Collection, 1st ed. 2022, Bd. 1120, S. 27–46). Cham: Springer International Publishing; Imprint Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-78368-6_2
- Albers, A., Rapp, S., Birk, C. & Bursac, N. (2017). Die Frühe Phase der PGE - Produktgenerationsentwicklung. In H. Binz, B. Bertsche, W. Bauer, D. Spath & D. Roth (Hrsg.), *Stuttgarter Symposium für Produktentwicklung SSP 2017: Stuttgart, 29. Juni 2017, Wissenschaftliche Konferenz. Produktentwicklung im disruptiven Umfeld* (o. S.). Stuttgart: Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO.
- Albers, A., Rapp, S., Fahl, J., Hirschter, T., Revfi, S., Schulz, M., Stürmlinger, T. & Spadinger, M. (2020). Proposing a Generalized Description of Variations in Different Types of Systems by the Model of PGE – Product Generation Engineering. In D. Marjanović, M. Štorga, S. Škec & Martinec T. (Hrsg.), *Proceedings*

- of the DESIGN 2020 16th International Design Conference; 26-29.10.2020; Online (Bd. 1, S. 2235–2244). The Design Society.
<https://doi.org/10.1017/dsd.2020.315>
- Albers, A., Rapp, S., Spadinger, M., Richter, T., Birk, C., Marthaler, F., Heimicke, J., Kurtz, V. & Wessels, H. (2019). The Reference System in the Model of PGE: Proposing a Generalized Description of Reference Products and their Interrelations. In Design Society (Hrsg.), *Proceedings of the Design Society: 22nd International Conference on Engineering Design (ICED19). Responsible Design for Our Future, Delft, The Netherlands, 5th - 8th August 2019* (Bd. 1, S. 1693–1702). Delft, Niederlande: The Design Society.
<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 C. Boks (Ed.), *Proceedings of NordDesign 2016. August 10-12, 2016, Trondheim, Norway* (S. 411–420). Bristol, United Kingdom: The Design Society.
- Albers, A., Reiß, N., Bursac, N. & Richter, T. (2016). iPeM – Integrated Product Engineering Model in Context of Product Generation Engineering. In L. Wang & T. Kjellberg (Hrsg.), *Procedia CIRP. Proceedings of 26th CIRP Design Conference* (Bd. 50, S. 100–105). Stockholm, Schweden.
<https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.04.168>
- Albers, A., Reiß, N., Bursac, N., Schwarz, L. & Lüdcke, R. (2015). Modelling Technique for Knowledge Management, Process Management and Method application - A Formular Student exploratory study. In M. Schabacker, K. Gericke, N. Szélig & S. Vajna (Hrsg.), *Modelling and Management of Engineering Processes (MMEP). Proceedings of the 3rd International Conference 2013* (S. 151–162). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Albers, A., Reiß, N., Bursac, N., Walter, B. & Gladysz, B. (2015). InnoFox - Situationsspezifische Methodenempfehlung im Produktentstehungsprozess. In H. Binz, B. Bertsche, W. Bauer & D. Roth (Hrsg.), *Stuttgarter Symposium für Produktentwicklung (SSP) 2015. Entwicklung smarterer Produkte für die Zukunft (o. S.)* (S. 100–105). Stuttgart: Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation.
- Albers, A., Saak, M. & Burkardt, N. (2002). Gezielte Problemlösung bei der Produktentwicklung mit Hilfe der SPALTEN-Methode. In *47. Internationales Wissenschaftliches Kolloquium: Maschinenbau und Nanotechnik – Hochtechnologie des 21. Jahrhunderts; Technische Universität Illmenau, 23.-26. September 2002* (S. 83–84). Illmenau: Kretzschmar Verlag.
- Albers, A., Sadowski, E. & Marxen, L. (2011). A New Perspective on Product Engineering Overcoming Sequential Process Models. In H. Birkhofer (Hrsg.), *The*

- Future of Design Methodology* (S. 199–209). Springer, London.
https://doi.org/10.1007/978-0-85729-615-3_17
- Albers, A., Turki, T. & Lohmeyer, Q. (2012). Transfer of Engineering Experience by Shared Mental Models. In L. Buck (Hrsg.), *Design education for future well-being. Proceedings of the 14th International Conference on Engineering and Product Design Education, Artesis University College, Antwerp, Belgium, 6th - 7th September 2012* (DS / Design Society, Bd. 74, S. 77–82). Glasgow: Design Society.
- Albers, A., Walter, B., Wilmsen, M. & Bursac, N. (2018). Live-Labs as Real-World Validation Environments for Design Methods. In D. Marjanović, M. Štorga, S. Škec, N. Bojčetić & N. Pavković (Hrsg.), *Design 2018. Proceedings of the 15th International Design Conference, May 2018, Dubrovnik, Croatia* (DS / Design Society, Bd. 92, S. 13–24). Zagreb: The Design Society.
<https://doi.org/10.21278/idc.2018.0303>
- Albers, A. & Wintergerst, E. (2014). The Contact and Channel Approach (C&C2-A): Relating a System's Physical Structure to Its Functionality. In A. Chakrabarti & L. T.M. Blessing (Hrsg.), *An Anthology of Theories and Models of Design. Philosophy, Approaches and Empirical Explorations* (Bd. 23, S. 151–171). London: Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4471-6338-1_8
- Albers, A., Zimmermann, V., Marthaler, F., Bursac, N., Duehr, K. & Spadinger, M. (2021). Selection of Reference System Elements in the Model of PGE - Product Generation Engineering: Method for the Integration of Customer and User Satisfaction in Product Planning. In Design Society (Hrsg.), *Proceedings of the Design Society: 23rd International Conference on Engineering Design (ICED21). Design in Motion, Gothenburg, Sweden, 16th - 20th August 2021* (Bd. 1, S. 2611–2620). The Design Society.
<https://doi.org/10.1017/pds.2021.522>
- Albers, A. A., Kühn, A. & Dumitrescu, R. (2017). Modellbasierte Entscheidungsunterstützung in der Produktgenerationenplanung. In S.-O. Schulze, C. Tschirner, R. Kaffenberger & S. Ackva (Hrsg.), *Tag des Systems Engineering. Paderborn, 8. -10. November 2017* (S. 13–22). München: Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG. <https://doi.org/10.3139/9783446455467.002>
- Alsaqaf, W., Daneva, M. & Wieringa, R. (2017). Agile Quality Requirements Engineering Challenges: First Results from a Case Study. In A. Bener (Hrsg.), *Proceedings of the 11th ACM/IEEE International Symposium on Empirical Software Engineering and Measurement. ESEM 2017; Proceedings; 9th - 10th November 2017, Toronto, Ontario, Canada* (ACM Digital Library, S. 454–459). Piscataway, NJ: IEEE Press. <https://doi.org/10.1109/ESEM.2017.61>

- Asan, U., Polat, S. & Sanchez, R. (2008). Scenario-driven modular design in managing market uncertainty. *International Journal of Technology Management*, 42(4), S. 459–487. <https://doi.org/10.1504/IJTM.2008.019386>
- Bader, J. J. (2007). *Die Hauptstellgrößen des Produktzielmanagements am Beispiel der Automobilentwicklung* (Produktentwicklung, 1. Aufl.). Zugl.: Dresden, Techn. Univ., Diss., 2007. München: Verl. Dr. Hut.
- Bailom, F., Hinterhuber, H. H., Matzler, K. & Sauerwein, E. (1996). Das Kano-Modell der Kundenzufriedenheit. *Marketing Zeitschrift für Forschung und Praxis (Marketing ZFP)*, 18(2), S. 117–126. <https://doi.org/10.15358/0344-1369-1996-2-117>
- Basedow, G. N., Heimicke, J., Albers, A., Wilmsen, M. & Marthaler, F. (2018). Improving R&D Success: Exploring modeling approaches for product profiles. In *Proceedings of R&D Management Conference 2018. R&Designing Innovation: Transformational Challenges for Organizations and Society; Milan, Italy - 30th June/04th July 2018* (n. p.). Mailand, Italien.
- Batra, D., Xia, W., van der Meer, D. & Dutta, K. (2010). Balancing Agile and Structured Development Approaches to Successfully Manage Large Distributed Software Projects: A Case Study from the Cruise Line Industry. *Communications of the Association for Information Systems*, 27(1), 379–394. <https://doi.org/10.17705/1CAIS.02721>
- Bauchmüller, M. & Kolb, M. Deutsche Bahn, ICE und die Hitze. Bei 32 Grad streikt die Klimaanlage. Zugriff am 19.06.2021. Verfügbar unter: <https://www.sueddeutsche.de/politik/deutsche-bahn-ice-und-die-hitze-bei-32-grad-streikt-die-klimaanlage-1.975380>
- Beck, K. (2003). *Extreme programming explained. Embrace change* (8th. print). Boston: Addison-Wesley.
- Benson, B., Sage, A. P. & Cook, G. (1993). Emerging technology-evaluation methodology: with application to micro-electromechanical systems. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 40(2), S. 114–123. <https://doi.org/10.1109/17.277403>
- Berkovich, M., Leimeister, J. M. & Krcmar, H. (2011). Requirements Engineering für Product Service Systems. *Wirtschaftsinformatik*, 53(6), S. 357–370. <https://doi.org/10.1007/s11576-011-0301-3>
- Bernal, P., Maicas, J. P. & Vargas, P. (2019). Exploration, exploitation and innovation performance: disentangling the evolution of industry. *Industry and Innovation*, 26(3), S. 295–320. <https://doi.org/10.1080/13662716.2018.1465813>

- Bhat, J. M., Gupta, M. & Murthy, S. N. (2006). Overcoming Requirements Engineering Challenges: Lessons from Offshore Outsourcing. *IEEE Software*, 23(5), S. 38–44. <https://doi.org/10.1109/MS.2006.137>
- Bhattacharya, S., Krishnan, V. & Mahajan, V. (1998). Managing New Product Definition in Highly Dynamic Environments. *Management Science*, 44(11-2), S. 50–64. <https://doi.org/10.1287/mnsc.44.11.s50>
- Björk, J., Ljungblad, J. & Bosch, J. (2013). Lean Product Development in Early Stage Startups. In S. Hyrynsalmi, K. Wnuk, M. Daneva, T. Mäkilä & A. Herrmann (Hrsg.), *Proceedings of the From Start-ups to SaaS Conglomerate: Life Cycles of Software Products Workshop 2013 (IW-LCSP 2013) co-located with 4th International Conference on Software Business (ICSOB) 2013*, Potsdam, Germany, June 11, 2013 (S. 19–32). CEUR-WS.org.
- Bland, D. J. & Osterwalder, A. (2020). *Testing Business Ideas* (Strategyzer). Frankfurt am Main: Campus Verlag GmbH.
- Blank, S. (2010). *Perfection By Subtraction – The Minimum Feature Set*. Zugriff am 28.10.2020. Verfügbar unter: <https://steveblank.com/2010/03/04/perfection-by-subtraction-the-minimum-feature-set/>
- Blessing, L. T.M. & Chakrabarti, A. (2009). *DRM, a Design Research Methodology* (1. Aufl.). London: Springer London. <https://doi.org/10.1007/978-1-84882-587-1>
- Braun, A. (2013). Modellbasierte Unterstützung der Produktentwicklung - Potentiale der Modellierung von Produktentstehungsprozessen am Beispiel des integrierten Produktentstehungsmodells (iPeM). Dissertation. In A. Albers & S. Matthiesen (Hrsg.), *Forschungsberichte des IPEK - Institut für Produktentwicklung. Systeme, Methoden, Prozesse* (Bd. 72). Karlsruhe: Karlsruher Institut für Technologie (KIT). <https://doi.org/10.5445/IR/1000040221>
- Breitschuh, J., Albers, A., Seyb, P., Hohler, S., Benz, J., Reiß, N. & Bursac, N. (2018). Scaling agile practices on different time scopes for complex problem-solving. In P. Ekströmer, S. Schütte & J. Ivander (Hrsg.), *Proceedings of Nord-Design 2018. Design in the Era of Digitalization, NordDesign 2018* (n. p.). Linköping, Schweden: The Design Society.
- Browning, T. R. (1998). *Modeling and Analyzing Cost, Schedule, and Performance in Complex System Product Development* (Thesis (Ph.D.) - Massachusetts Institute of Technology, Sloan School of Management, Technology, Management, and Policy Program). Boston: Massachusetts Institute of Technology.
- Browning, T. R. (2001). Applying the design structure matrix to system decomposition and integration problems: a review and new directions. *IEEE Transactions*

- on *Engineering Management*, 48(3), S. 292–306.
<https://doi.org/10.1109/17.946528>
- Bubenko, J. A. (1995). Challenges in requirements engineering. In *Proceedings of the Second IEEE International Symposium on Requirements Engineering, March 27-29, 1995, York, England* (S. 160–162). Los Alamitos, Calif: IEEE Computer Society Press. <https://doi.org/10.1109/ISRE.1995.512557>
- 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>
- Business Insider. (2017, 15. Februar). *Marktanteil von BlackBerry am weltweiten Absatz von Smartphones vom 1. Quartal 2007 bis zum 4. Quartal 2016 [Graph]*, In Statista. Zugriff am 10.11.2021. Verfügbar unter: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/12863/umfrage/marktanteil-von-rim-smartphones-seit-2007/>
- Business Wire. (2021, 28. Oktober). *Vergleich der Marktanteile von Apple und Samsung am weltweiten Absatz von Smartphones vom 2. Quartal 2009 bis zum 3. Quartal 2021 [Graph]*, In Statista. Zugriff am 10.11.2021. Verfügbar unter: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/257769/umfrage/vergleich-der-marktanteile-von-apple-und-samsung-am-weltweiten-smartphone-absatz/>
- Byrne, J. G. & Barlow, T. (1993). Structured Brainstorming: A Method for Collecting User Requirements. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 37(5), S. 427–431.
<https://doi.org/10.1177/154193129303700507>
- Cao, Y., Chen, R.-s., Zhao, L. & Nagahira, A. (2008). Impact analysis of FFE practices of New Product Development in Japanese companies. In H. Lan (Hrsg.), *15th annual conference proceedings / International Conference on Management Science and Engineering, 2008, ICMSE 2008. 10 - 12 Sept. 2008, Long Beach, USA* (S. 1449–1456). Piscataway, NJ: IEEE.
<https://doi.org/10.1109/ICMSE.2008.4669097>
- Carbonell, P. & Rodriguez, A. I. (2006). The impact of market characteristics and innovation speed on perceptions of positional advantage and new product performance. *International Journal of Research in Marketing*, 23(1), S. 1–12.
<https://doi.org/10.1016/j.ijresmar.2006.01.002>

- Carlshamre, P. (2001). *A usability perspective on requirements engineering. From methodology to product development* (Linköping Studies in Science and Technology, vol. 726). (Dissertation). Linköping: Univ. Dep. of Computer and Information Science.
- Chen, J., Reilly, R. R. & Lynn, G. S. (2005). Speed: too much of a good thing? In C. M. Weber, D. F. Kocaoglu, D. Z. Milosevic, T. R. Anderson & T. U. Daim (Hrsg.), *Proceedings PICMET '05: Portland International Conference on Management of Engineering and Technology; Portland, OR; United States; 31 July 2005 through 4 August 2005. Technology management: A unifying discipline for melting the boundaries* (S. 520–532). Portland, Ore: PICMET Portland State University Dept. of Engineering and Technology Management. <https://doi.org/10.1109/PICMET.2005.1509733>
- Chou, A. Y. (2006). Product development flexibility in a changing business environment. *International Journal of Information Systems and Change Management*, 1(2), S. 177-186. <https://doi.org/10.1504/IJISCM.2006.010323>
- Clarkson, P. J. & Eckert, C. (Hrsg.). (2005). *Design process Improvement. A Review of Current Practice* (1. Aufl.). London: Springer Verlag London Limited.
- Cohn, M. (2013). *User stories applied. For agile software development* (Addison-Wesley signature series, 18. print). Boston, Mass.: Addison-Wesley.
- Conboy, K., Coyle, S., Wang, X. & Pikkarainen, M. (2011). People over Process: Key Challenges in Agile Development. *IEEE Software*, 28(4), S. 48–57. <https://doi.org/10.1109/MS.2010.132>
- Cooper, R. G. (1990). Stage-Gate Systems: A New Tool for Managing New Products. *Business Horizons*, 33(3), S. 44–54.
- Cooper, R. G. (1994). Third-Generation New Product Processes. *Journal of Product Innovation Management*, 11(1), S. 3–14. <https://doi.org/10.1111/1540-5885.1110003>
- Cooper, R. G. (2011). *Winning at new products. Creating value through innovation* (4. ed., completely rev. and updated.). New York: Basic Books.
- Cooper, R. G. & Kleinschmidt, E. J. (1987). Success Factors in Product Innovation. *Industrial Marketing Management*, 16(3), S. 215–223. [https://doi.org/10.1016/0019-8501\(87\)90029-0](https://doi.org/10.1016/0019-8501(87)90029-0)
- Cooper, R. G. & Kleinschmidt, E. J. (1993). Screening new products for potential winners. In T. Laamanen (Hrsg.), *Long Range Planning* (26(6), S. 74–81). Amsterdam: Elsevier. Zugriff am 26.03.2020. [https://doi.org/10.1016/0024-6301\(93\)90208-W](https://doi.org/10.1016/0024-6301(93)90208-W)

- Costa, R. & Sobek, D. K. (2003). Iteration in Engineering Design: Inherent and Unavoidable or Product of Choices Made? In S. K. Gupta (Hrsg.), *8th Design Manufacturing Conference. 15th International Conference on Design Theory and Methodology. 17th Reliability, Stress Analysis, and Failure Prevention Conference. Safety engineering and risk analysis* (Proceedings of the 2003 ASME Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference, Vol. 3, S. 669–674). New York, NY: American Society of Mechanical Engineers. <https://doi.org/10.1115/DETC2003/DTM-48662>
- Creane, A. (2002). Uncertain product quality, optimal pricing and product development. *Annals of Operations Research*, 114(1/4), S. 83–103. <https://doi.org/10.1023/A:1021054001562>
- Cross, N. (2008). *Engineering design methods. Strategies for product design* (4. ed.). Chichester: Wiley.
- Czichos, H. (2015). *Mechatronik. Grundlagen und Anwendungen technischer Systeme* (Springer eBook Collection, 3., überarb. u. erw. Aufl. 2015). Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden. <https://doi.org/10.1007/978-3-658-09950-3>
- Daenzer, W. F. & Huber, F. (1994). *Systems Engineering. Methodik und Praxis* (8. Aufl.). Zürich: Verlag Industrielle Organisation.
- Dao, V. (2012). Impacts Of Innovating Firms' Strategic Signals on Market Participants' Market Success in the Context of a Standards War. In *ECIS 2012 - Proceedings of the 20th European Conference on Information Systems; Barcelona; Spain; 10 June 2012 through 13 June 2012* (S. 186-197).
- Dao, V. & Zmud, R. (2013). Innovating firms' strategic signaling along the innovation life cycle: The standards war context. *Journal of Engineering and Technology Management*, 30(3), S. 288–308. <https://doi.org/10.1016/j.jengtecman.2013.05.003>
- Darlington, M. J. & Culley, S. J. (2002). Current research in the engineering design requirement. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, 216(3), S. 375–388. <https://doi.org/10.1243/0954405021520049>
- Deming, W. E. (2000). *Out of the Crisis* (MIT Press Ser, Reprint Edition). Cambridge: MIT Press.
- Dikert, K., Paasivaara, M. & Lassenius, C. (2016). Challenges and success factors for large-scale agile transformations: A systematic literature review. *Journal of Systems and Software*, 119, S. 87–108. <https://doi.org/10.1016/j.jss.2016.06.013>

- DIN 69901-2:2009-01 (2009). *DIN 69901-2:2009-01, Projektmanagement_ - Projektmanagementsysteme_ - Teil_2: Prozesse, Prozessmodell*. Berlin: Beuth Verlag GmbH.
- DIN 69901-5:2009-01 (2009). *DIN 69901-5:2009-01, Projektmanagement - Projektmanagementsysteme - Teil_5: Begriffe*. Berlin: Beuth Verlag GmbH.
- DIN EN ISO 9000:2015 (2015). *DIN EN ISO 9000:2015 Qualitätsmanagementsysteme - Grundlagen und Begriffe*. Berlin: Beuth Verlag GmbH.
- DIN ISO 31000:2018 (2018). *DIN ISO 31000:2018-10, Risikomanagement_ - Leitlinien (ISO_31000:2018)*. Berlin: Beuth Verlag GmbH.
- Disselkamp, M. (2005). *Innovationsmanagement. Instrumente und Methoden zur Umsetzung im Unternehmen*. Wiesbaden: Gabler Verlag.
<https://doi.org/10.1007/978-3-663-07881-4>
- Disselkamp, M. (2012). *Innovationsmanagement. Instrumente und Methoden zur Umsetzung im Unternehmen* (2. Aufl. 2012). Wiesbaden: Springer.
<https://doi.org/10.1007/978-3-8349-4472-6>
- Dörner, D. (1976). *Problemlösen als Informationsverarbeitung* (Kohlhammer-Standards Psychologie Studententext, 1. Aufl.). Stuttgart: Kohlhammer.
- Dpa. (2020, 20. August). *Blackberry: Neues Modell soll 2021 auf den Markt kommen*. Zugriff am 19.06.2021. Verfügbar unter: <https://www.internet-world.de/sonstiges/g/blackberry-neues-modell-2021-markt-kommen-2566120.html>
- Dpa, Reuters & AFP (Allmendinger, J., Beddoes, Z. M., Illies, Florian, Joffe, Josef & Leibinger-Kammüller, N., Hrsg.). (2010, 15. Juli). *Deutsche Bahn ICE-Klimaanlagen versagen ab 32 Grad*, Zeitverlag Gerd Bucerius GmbH & Co. KG. Zugriff am 19.06.2021. Verfügbar unter: https://www.zeit.de/reisen/2010-07/deutsche-bahn-hitze-klimaanlage?utm_referrer=https%3A%2F%2Fwww.google.de%2F
- Duehr, K., Heimicke, J., Breitschuh, J., Spadinger, M., Kopp, D., Haertenstein, L. & Albers, A. (2019). Understanding Distributed Product Engineering: Dealing with Complexity for Situation- and Demand-Oriented Process Design. In G. D. Putnik (Hrsg.), *Procedia Cirp. 29th CIRP Design Conference 2019, 08-10 May 2019, Póvoa de Varzim, Portugal* (Bd. 84, S. 136–142).
<https://doi.org/10.1016/j.procir.2019.04.200>
- Dumitrescu, R., Albers, A., Riedel, O., Stark, R. & Gausemeier, J. (H.). (2021). *Engineering in Deutschland – Status quo in Wirtschaft und Wissenschaft. Ein Beitrag zum Advanced Systems Engineering*. Paderborn.

- Düser, T. (2010). X-in-the-Loop - ein durchgängiges Validierungsframework für die Fahrzeugentwicklung am Beispiel von Antriebsstrangfunktionen und Fahrerassistenzsystemen. Dissertation. In A. Albers (Hrsg.), *Forschungsberichte des IPEK - Institut für Produktentwicklung. Systeme, Methoden, Prozesse* (Bd. 47). Karlsruhe: Karlsruher Institut für Technologie (KIT).
<https://doi.org/10.5445/IR/1000020671>
- Dvir, D. & Sadeh, A. (2017). The Impact of Technological and Market Uncertainty on Innovative Development Processes. In D. F. Kocaoglu & T. R. Anderson (Hrsg.), *PICMET '17. Portland International Conference on Management of Engineering and Technology : proceedings : Technology Management for the Interconnected World; 9-13 July 2017, Portland* (S. 1–5). Portland, OR: PICMET Portland State University Dept. of Engineering and Technology Management.
<https://doi.org/10.23919/PICMET.2017.8125360>
- Earl, C., Johnson, J. & Eckert, C. (2005). Complexity. In P. J. Clarkson & C. Eckert (Eds.), *Design process Improvement. A Review of Current Practice* (1st ed., S. 174–197). London: Springer Verlag London Limited.
- 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>
- Ebert, C. (2014). *Systematisches Requirements Engineering. Anforderungen ermitteln, spezifizieren, analysieren und verwalten* (5., überarb. Aufl.). Heidelberg: dpunkt.verlag.
- Ebert, C. (2019). *Systematisches Requirements Engineering. Anforderungen ermitteln, dokumentieren, analysieren und verwalten* (6., überarbeitete und erweiterte Auflage). Heidelberg: dpunkt.verlag.
- Ebert, C. & Dumke, R. (2007). *Software Measurement. Establish - Extract - Evaluate - Execute* (1. Aufl.). Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag.
- Ebert, C. & Man, J. de (2005). Requirements Uncertainty: influencing factors and concrete improvements. In G.-C. Roman (Hrsg.), *Proceedings of the 27th international conference on Software engineering. St. Louis MO USA; May 15 - 21, 2005* (ACM Conferences, S. 553–560). New York, NY: ACM.
<https://doi.org/10.1145/1062455.1062554>
- Eckert, C., Clarkson, P. J. & Zanker, W. (2004). Change and customisation in complex engineering domains. *Research in Engineering Design*, 15(1), S. 1–21.
<https://doi.org/10.1007/s00163-003-0031-7>

- Ehrlenspiel, K. (2009). *Integrierte Produktentwicklung. Denkabläufe, Methodeneinsatz, Zusammenarbeit* (4., aktualisierte Aufl., [elektronische Ressource]. München: Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG.
<https://doi.org/10.3139/9783446421578>
- Ehrlenspiel, K. & Meerkamm, H. (2013). *Integrierte Produktentwicklung. Denkabläufe, Methodeneinsatz, Zusammenarbeit* (5., überarb. und erw. Aufl., [elektronische Ressource]. München: Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG.
<https://doi.org/10.3139/9783446436275>
- Eiletz, R. (1999). *Zielkonfliktmanagement bei der Entwicklung komplexer Produkte - am Beispiel PKW-Entwicklung* (Dissertation. Reihe Konstruktionstechnik München, Bd. 32). Zugl.: München, Techn. Univ., Diss., 1999. Aachen: Shaker.
- Engelhardt, R., Birkhofer, H., Kloberdanz, H. & Mathias, J. (2009). Uncertainty-Mode- and Effects-Analysis – an Approach to Analyze and Estimate Uncertainty in the Product Life Cycle. In M. Norell Bergendahl, M. Grimheden, L. Leifer, P. Skogstad & U. Lindemann (Hrsg.), *Proceedings of the 17th International Conference on Engineering Design' ICED'09, Vol 5: Design Methods and Tools, Part 1, 5 5-61* (Design Society, Bd. 58, S. 191–202). Palo Alto, CA, USA: Design Society.
- Engeln, W. (2006). *Methoden der Produktentwicklung* (Skripten Automatisierungstechnik). München: Oldenbourg Industrieverl.
- Engesser, H., Claus, V. & Schwill, A. (1989). *Duden Informatik. Ein Sachlexikon für Studium und Praxis* (Korrigierter Nachdr). Mannheim: Dudenverl.
- Esber, S. & Baier, D. (2010). Monte Carlo Methods in the Assessment of New Products: A Comparison of Different Approaches. In H. Locarek-Junge & C. Weihs (Hrsg.), *Classification as a Tool for Research. Proceedings of the 11th IFCS Biennial Conference and 33rd Annual Conference of the Gesellschaft für Klassifikation e. V., Dresden, March 13-18, 2009* (SpringerLink Bücher, Bd. 13, S. 701–708). Berlin, Heidelberg: Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-642-10745-0_77
- Ettlie, J. E. (1997). Integrated design and new product success. *Journal of Operations Management*, 15(1), S. 33–55. [https://doi.org/10.1016/s0272-6963\(96\)00095-2](https://doi.org/10.1016/s0272-6963(96)00095-2)
- Fortuin, F. & Omta, S.W.F. (2007). The Length of the Product Generation Life Cycle as a Moderator of Innovation Strategy: A Comparative Cross-Industry Study of Ten Leading Technology-Based Companies. In R. H. Sprague (Hrsg.), *40th Annual Hawaii International Conference on System Sciences, 2007. HICSS 2007 ; Jan. [3 - 6], 2007, [Waikoloa, Big Island, Hawaii* (n. p.). Los Alamitos, Calif.: IEEE Computer Society.
<https://doi.org/10.1109/HICSS.2007.548>

- Fowler, M. & Highsmith, J. (2001). The Agile Manifesto. *Software Development*, 9(8), S. 28–35.
- Frank, U. (2006). *Spezifikationstechnik zur Beschreibung der Prinzipiöpfung selbstoptimierender Systeme* (Dissertation. HNI-Verlagsschriftenreihe, Bd. 175). Zugl. Paderborn, Univ., Diss., 2005. Paderborn: Heinz-Nixdorf-Inst.
- Gabriel, S., Niewoehner, N., Asmar, L., Kühn, A. & Dumitrescu, R. (2021). Integration of agile practices in the product development process of intelligent technical systems. In E. Lutters (Hrsg.), *Procedia CIRP. 31st CIRP Design Conference 2021 (CIRP Design 2021)* (Bd. 100, Bd. 100, S. 427–432). <https://doi.org/10.1016/j.procir.2021.05.099>
- Galbraith, J. R. (1973). *Designing complex organizations* (Organization development). Reading, Mass.: Addison-Wesley.
- Gängl-Ehrenwerth, C., Faullant, R. & Schwarz, E. J. (2013). Kundenintegration in den Neuproduktentwicklungsprozess. In D. E. Krause (Hrsg.), *Kreativität, Innovation und Entrepreneurship* (Bd. 11, S. 371–384). Wiesbaden: Springer Gabler. https://doi.org/10.1007/978-3-658-02551-9_19
- Gaubinger, K., Werani, T. & Rabl, M. (2009). *Praxisorientiertes Innovations- und Produktmanagement*. Wiesbaden: Gabler. <https://doi.org/10.1007/978-3-8349-8780-8>
- Gausemeier, J. & Plass, C. (2014). *Zukunftsorientierte Unternehmensgestaltung. Strategien, Geschäftsprozesse und IT-Systeme für die Produktion von morgen* (2. überarbeitete Aufl.). München: Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG. <https://doi.org/10.3139/9783446438422>
- Gebauer, M. (2001). *Kooperative Produktentwicklung auf der Basis verteilter Anforderungen* (Dissertation. Forschungsberichte aus dem Institut für Rechneranwendung in Planung und Konstruktion der Universität Karlsruhe, Bd. 2001,3). Zugl.: Karlsruhe, Univ., Diss., 2001. Aachen: Shaker.
- Georgiopoulos, P., Jonsson, M. & Papalambros, P. Y. (2005). Linking Optimal Design Decisions to the Theory of the Firm: The Case of Resource Allocation. *Journal of Mechanical Design*, 127(3), S. 358–366. <https://doi.org/10.1115/1.1862679>
- Gewald, J.-B., Leliveld, A. & Pesa, I. (2012). Preliminary Material. In J.-B. Gewalt, A. Leliveld & I. Pesa (Hrsg.), *Transforming innovations in Africa. Explorative studies on appropriation in African societies* (African Dynamics, S. i–xi). Leiden: Brill. https://doi.org/10.1163/9789004245440_001
- Giones, F. & Miralles, F. (2014). Exploring the use of signals in the venture emergence of new technology-based firms. In S. Terzi (Hrsg.), *International ICE Conference on Engineering, Technology and Innovation (ICE), 2014. 23 -*

- 25 June 2014, Bergamo, Italy (S. 1–7). Piscataway, NJ: IEEE.
<https://doi.org/10.1109/ICE.2014.6871613>
- Goodwin, P., Meeran, S. & Dyussekeneva, K. (2014). The challenges of pre-launch forecasting of adoption time series for new durable products. *International Journal of Forecasting*, 30(4), S. 1082–1097. <https://doi.org/10.1016/j.ijforecast.2014.08.009>
- Grande, M. (2014). *100 Minuten für Anforderungsmanagement*. Wiesbaden: Springer Fachmedien. <https://doi.org/10.1007/978-3-658-06435-8>
- Granig, P. & Perusch, S. (2012). *Innovationsrisikomanagement im Krankenhaus. Identifikation, Bewertung und Strategien* (1. Aufl.). s.l.: Gabler Verlag.
- Gregory, P., Barroca, L., Taylor, K., Salah, D. & Sharp, H. (2015). Agile Challenges in Practice: A Thematic Analysis. In C. Lassenius (Hrsg.), *Agile Processes in Software Engineering and Extreme Programming. 16th International Conference, XP 2015, Helsinki, Finland, May 25-29, 2015, Proceedings* (Lecture Notes in Business Information Processing Ser, Bd. 212, S. 64–80). Cham: Springer International Publishing AG. https://doi.org/10.1007/978-3-319-18612-2_6
- Grüner, K. & Homburg, C. (1999). Innovationserfolg durch Kundeneinbindung. In H. Albach (Hrsg.), *Innovation und Investition* (Zeitschrift für Betriebswirtschaft Ergänzungsheft 1 / 99, Bd. 1, S. 119–142). Wiesbaden: Gabler Verlag. https://doi.org/10.1007/978-3-322-86550-2_6
- Haberfellner, R. & Weck, O. de (2005). Agile systems engineering versus agile systems engineering. In *15th Annual International Symposium of the International Council on Systems Engineering, INCOSE 2005; Rochester, NY; United States; 10 July 2005 through 15 July 2005*; (Bd. 2, S. 1449–1465).
- Hales, C. & Gooch, S. (2004). *Managing Engineering Design*. London: Springer London. <https://doi.org/10.1007/978-0-85729-394-7>
- Hallmann, M. (1990). *Prototyping komplexer Softwaresysteme. Ansätze zum Prototyping und Vorschlag einer Vorgehensweise*. Wiesbaden: Vieweg+Teubner Verlag. <https://doi.org/10.1007/978-3-663-01528-4>
- Hanser, E. (2010). *Agile Prozesse: Von XP über Scrum bis MAP*. Berlin, Heidelberg: Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-12313-9>
- Hauser, J. R. & Clausing, D. (1998). The house of quality. *Harvard Business Review*, (May), S. 63–73.
- Hawer, S., Schönmann, A. & Reinhart, G. (2017). Guideline for the Classification and Modelling of Uncertainty and Fuzziness. In R. Teti & D. M. D'Addona (Hrsg.), *Procedia CIRP. 11th CIRP Conference on Intelligent Computation in*

- Manufacturing Engineering*, 19-21 July 2017, Gulf of Naples, Italy (Bd. 67, S. 52–57). <https://doi.org/10.1016/j.procir.2017.12.175>
- Healy, B., O'Dwyer, M. & Ledwith, A. (2018). An exploration of product advantage and its antecedents in SMEs. *Journal of Small Business and Enterprise Development*, 25(1), S. 129–146. <https://doi.org/10.1108/JSBED-06-2017-0206>
- Heimicke, J., Niever, M., Zimmermann, V., Klippert, M., Marthaler, F. & Albers, A. (2019). Comparison of Existing Agile Approaches in the Context of Mechatronic System Development: Potentials and Limits in Implementation. In Design Society (Hrsg.), *Proceedings of the Design Society: 22nd International Conference on Engineering Design (ICED19). Responsible Design for Our Future, Delft, The Netherlands, 5th - 8th August 2019* (Bd. 1, S. 2199–2208). Delft, Niederlande: The Design Society. <https://doi.org/10.1017/dsi.2019.226>
- Heimicke, J., Spadinger, M., Xiang, L. & Albers, A. (2020). Potentials and Challenges in the Harmonization of Approaches for agile Product Development and Automotive SPICE. In T. Lusikka (Hrsg.), *Rethinking transport - towards clean and inclusive mobility. Proceedings of TRA2020, the 8th Transport Research Arena (TRA 2020 - Conference cancelled - Helsinki, Finland Duration: 27 Apr 2020 → 30 Apr 2020)* (Traficom research reports, 7 (2020)). Finnland: Finnish Transport and Communications Agency Traficom.
- Heimicke, J., Zimmermann, V., Klippert, M., Spadinger, M. & Albers, A. (2019). Vergleich von Produktinnovationsarten – Worin die Unterschiede wirklich begründet liegen. In R. H. Stelzer & J. Krzywinski (Hrsg.), *Entwerfen Entwickeln Erleben in Produktentwicklung und Design 2019. Konferenz Entwerfen Entwickeln Erleben - EEE2019. Dresden, 27. - 28. Juni 2019* (Technisches Design, Bd. 12, S. 165–180). Dresden: TUDpress.
- Heiss, S. F. (2010). *Kundenwissen für Forschung und Entwicklung in der Automobilindustrie. Fallstudie und Modellentwicklung zum Wissen von und über Kunden* (Dissertationsschrift). Saarbrücken: Suedwestdeutscher Verlag fuer Hochschulschriften.
- Heitger, N. (2019). Methodische Unterstützung der initialen Zielsystembildung 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). <https://doi.org/10.5445/IR/1000098206>
- Hekatron Vertriebs GmbH.. *Hekatron Brandschutz - Unternehmenswebseite*. Zugriff am 18.06.2021. Verfügbar unter: <https://www.hekatron-brandschutz.de/>

- Henderson, R. M. & Clark, K. B. (1990). Architectural Innovation: The Reconfiguration of Existing Product Technologies and the Failure of Established Firms. *Administrative Science Quarterly*, 35(1), S. 9–30. <https://doi.org/10.2307/2393549>
- Hering, E. & Schloske, A. (2019). *Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse. Methode zur vorbeugenden, systematischen Qualitätsplanung unter Risikogesichtspunkten (essentials)*. Wiesbaden: Springer Vieweg.
- Herstatt, C., Stockstrom, C., Verworn, B. & Nagahira, A. (2006). "Fuzzy Front End" Practices in Innovating Japanese Companies. *International Journal of Innovation and Technology Management*, 03(01), S. 43–60. <https://doi.org/10.1142/S0219877006000703>
- Heslin, P. A. (2009). Better than brainstorming? Potential contextual boundary conditions to brainwriting for idea generation in organizations. *Journal of Occupational and Organizational Psychology*, 82(1), S. 129–145. <https://doi.org/10.1348/096317908X285642>
- Heuzeroth, T. (Aust, S., Hrsg.). (2018). *Wie Blackberry sich ohne Smartphones neu erfindet*, Die Welt. Zugriff am 19.06.2021. Verfügbar unter: <https://www.welt.de/wirtschaft/webwelt/article172378542/Blackberry-Das-ist-aus-der-einstigen-Smartphone-Ikone-geworden.html>
- Hippel, E. von (2007). The Sources of Innovation. In R. Elschen & C. Boersch (Hrsg.), *Das Summa Summarum des Management* (1. Aufl., S. 111–120). Wiesbaden: Gabler Verlag. https://doi.org/10.1007/978-3-8349-9320-5_10
- Hirschter, T., Heitger, N., Haug, F., Fahl, J., Mandel, C., Marthaler, F., Walter, B. & Albers, A. (2018). Zukunftsorientierte PGE – Produktgenerationsentwicklung. Ein Ansatz zur systematischen Überführung von Szenarien in Produktprofile in der Frühen Phase der PGE. In J. Gausemeier, W. Bauer & R. Dumitrescu (Hrsg.), *Vorausschau und Technologieplanung. 14. Symposium für Vorausschau und Technologieplanung, 8. und 9. November 2018, Berlin* (HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 385, S. 309–329). Paderborn: HNI Heinz-Nixdorf-Institut.
- Hochdörffer, J., Maul, J. & Lanza, G. (2015). Herstellkosten im Rahmen der Elektromobilität. *Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb*, 110(3), S. 122–125. <https://doi.org/10.3139/104.111288>
- Hong, P., Jagani, S., Kim, J. & Youn, S. H. (2019). Managing sustainability orientation: An empirical investigation of manufacturing firms. *International Journal of Production Economics*, 211(7), S. 71–81. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2019.01.035>
- Hood, C., Fichtinger, S., Pautz, U. & Wiedemann, S. (2008). *Requirements Management. The Interface Between Requirements Development and All Other*

- Systems Engineering Processes*. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag.
<https://doi.org/10.1007/978-3-540-68476-3>
- Humpert, L., Röhms, B., Anacker, H., Dumitrescu, R. & Anderl, R. (2022). Method for direct end customer integration into the agile product development. In N. Anwer (Hrsg.), *Procedia CIRP. 32nd CIRP Design Conference (CIRP Design 2022) - Design in a changing world* (Bd. 109, Bd. 109, S. 215–220).
<https://doi.org/10.1016/j.procir.2022.05.239>
- Ili, S., Albers, A. & Miller, S. (2010). Open innovation in the automotive industry. In E. Enkel, O. Gassmann & H. Chesbrough (Hrsg.), *R&D Management. Special Issue: The Future of Open Innovation* (40(3), S. 246–255).
<https://doi.org/10.1111/j.1467-9310.2010.00595.x>
- Inayat, I., Salim, S. S., Marczak, S., Daneva, M. & Shamshirband, S. (2015). A systematic literature review on agile requirements engineering practices and challenges. *Computers in Human Behavior*, 51, S. 915–929.
<https://doi.org/10.1016/j.chb.2014.10.046>
- Incekara, M. (2018). “Grey-Box” and “Black-Box” Supplier-Buyer Relationship in Product Innovation Under Technology and Market Uncertainty. In *Conference proceedings ICE/IEEE ITMC. 2018 IEEE International Conference on Engineering, Technology and Innovation (ICE/ITMC) : Stuttgart, 17.06.-20.06.2018* (S. 1–7). Piscataway, NJ: IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICE.2018.8436260>
- IPEK. (2021). *IPEK Glossar*. Zugriff am 18.08.2021. Verfügbar unter:
<https://www.ipek.kit.edu/glossar/index.php?title=Produktprofil>
- Jeang, A. & Liang, F. (2012). An innovation funnel process for set-based conceptual design via DOE exploration, DEA selection and computer simulation. *International Journal of Production Research*, 50(23), S. 6792–6810.
<https://doi.org/10.1080/00207543.2011.625050>
- Johnson, W. H. A., Piccolotto, Z. & Filippini, R. (2009). The Impacts of Time Performance and Market Knowledge Competence on New Product Success: An International Study. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 56(2), S. 219–228. <https://doi.org/10.1109/TEM.2008.2009789>
- Jonnalagedda, S. & Saranga, H. (2017). Commonality decisions when designing for multiple markets. *European Journal of Operational Research*, 258(3), S. 902–911. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2016.08.059>
- Jörg, M. A. J. (2005). *Ein Beitrag zur ganzheitlichen Erfassung und Integration von Produktanforderungen mit Hilfe linguistischer Methoden* (Dissertation. Forschungsberichte aus dem Institut für Rechneranwendung in Planung und Konstruktion der Universität Karlsruhe, Bd. 2005,3). Zugl.: Karlsruhe, Univ., Diss, 2005. Aachen: Shaker.

- Ju, M., Jin, J. L. & Zhou, K. Z. (2018). How Can International Ventures Utilize Marketing Capability in Emerging Markets? Its Contingent Effect on New Product Development. *Journal of International Marketing*, 26(4), S. 1–17.
<https://doi.org/10.1177/1069031X18809999>
- Kamaruddin, N. K., Arshad, N. H. & Mohamed, A. (2012). Chaos issues on communication in Agile Global Software Development. In *IEEE Business, Engineering and Industrial Applications Colloquium (BEIAC), 2012. 7 - 8 April 2012, Kuala Lumpur, Malaysia* (S. 394–398). Piscataway, NJ: IEEE.
<https://doi.org/10.1109/BEIAC.2012.6226091>
- Kano, N. (2001). Life Cycle and Creation of Attractive Quality. In S. M. Dahlgaard Park & J. J. Dahlgaard (Hrsg.), *Proceedings of the 4th International Quality Management and Organisational Development (QMOD) Conference. Linköping, 12-14 September 2001* (S. 18–36).
- Kano, N., Seraku, N., Takahashi, F. & Tsuji, S. (1996). Attractive Quality and Must-Be Quality. In J. D. Hromi (Hrsg.), *The Best on Quality* (Book series of International Academy for Quality, vol. 7, Chapter 10, S. 165–186). Milwaukee, Wisconsin: ASQC Quality Press.
- Karlsson, L., Dahlstedt, A. G. & Natt och Dag, J. (2002). Challenges in Market-Driven Requirements Engineering - an Industrial Interview Study. In *Proceedings of Eighth International Workshop on Requirements Engineering: Foundation for Software Quality, Sept 9-10th, 2002 Essen Germany* (S. 37–49).
- Kassab, M. (2015). The changing landscape of requirements engineering practices over the past decade. In *5th International Workshop on Empirical Requirements Engineering (EmpiRE 2015). Proceedings : August 24, 2015, Ottawa, ON, Canada* (S. 1–8). Piscataway, NJ: IEEE. <https://doi.org/10.1109/EmpIRE.2015.7431299>
- Kauppinen, M., Vartiainen, M., Kontio, J., Kujala, S. & Sulonen, R. (2004). Implementing requirements engineering processes throughout organizations: success factors and challenges. *Information and Software Technology*, 46(14), S. 937–953. <https://doi.org/10.1016/j.infsof.2004.04.002>
- Keating, C., Rogers, R., Unal, R., Dryer, D., Sousa-Poza, A., Safford, R., Peterson, W. & Rabadi, G. (2003). System of Systems Engineering. *Engineering Management Journal*, 15(3), S. 36–45.
<https://doi.org/10.1080/10429247.2003.11415214>
- Kilpatrick, B. (2017, 14. Februar). *Is Your MVP Minimal Enough?*, Atomic Object LLC. Zugriff am 19.06.2021. Verfügbar unter: <https://spin.atomicobject.com/2017/02/14/mvp-minimal-enough/>

- Klingler, S. (2016). Eine Methode zur effizienten und effektiven Unterstützung der kontinuierlichen Validierung im Kontext der PGE - Produktgenerationsentwicklung. Dissertation. In A. Albers & S. Matthiesen (Hrsg.), *Forschungsberichte des IPEK - Institut für Produktentwicklung. Systeme, Methoden, Prozesse* (Bd. 101). Karlsruhe: Karlsruher Institut für Technologie (KIT). <https://doi.org/10.5445/IR/1000073864>
- Konrad, S. & Gall, M. (2008). Requirements Engineering in the Development of Large-Scale Systems. In *16th IEEE International Requirements Engineering, 2008. RE '08 ; September 8 - 12, 2008, Barcelona, Catalunya, Spain ; proceedings* (S. 217–222). Los Alamitos, Calif.: IEEE Computer Society. <https://doi.org/10.1109/RE.2008.31>
- Koppelman, U. (2001). *Produktmarketing. Entscheidungsgrundlagen für Produktmanager* (6., überarb. und erw. Aufl.). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Koufteros, X. A., Vonderembse, M. A. & Doll, W. J. (2002). Integrated product development practices and competitive capabilities: the effects of uncertainty, equivocality, and platform strategy. *Journal of Operations Management*, 20(4), S. 331–355. [https://doi.org/10.1016/S0272-6963\(02\)00018-9](https://doi.org/10.1016/S0272-6963(02)00018-9)
- Kremp, M. (2020, 4. Februar). *Ende einer Legende: Im August ist Schluss mit BlackBerry-Smartphones*, Der Spiegel. Zugriff am 19.06.2020. Verfügbar unter: <https://www.spiegel.de/netzwelt/gadgets/blackberry-ende-august-wird-die-smartphone-produktion-eingestellt-a-82dc660a-22d6-4c78-b6c3-0221168ea84f>
- Kreye, M. E., Goh, Y. M. & Newnes, L. B. (2011). Manifestation of Uncertainty - A Classification. In S. J. Culley, B. J. Hicks, T. C. McAlloone, T. J. Howard, Y. Reich & S. J. Culley (Hrsg.), *Proceedings of the 18th International Conference on Engineering Design, ICED 11 - Impacting Society Through Engineering Design, Vol 6 Design Information and Knowledge, 15th-18th August 2011, Kobenhavn*, (Bd. 68, S. 96–107). Glasgow: Design Society.
- Kruse, P. J. (1996). *Anforderungen in der Systementwicklung. Erfassung, Aufbereitung und Bereitstellung von Anforderungen in interdisziplinären Entwicklungsprojekten* (Dissertation. Fortschritt-Berichte VDI Reihe 20, Rechnerunterstützte Verfahren, Bd. 191, Als Ms. gedr). Zugl.: Clausthal, Techn. Univ., Diss. Düsseldorf: VDI-Verl.
- Lakemond, N., Magnusson, T., Johansson, G. & Säfsten, K. (2013). Assessing Interface Challenges in Product Development Projects. *Research-Technology Management*, 56(1), S. 40–48. <https://doi.org/10.5437/08956308X5505078>

- Lamm, J. G. & Weilkiens, T. (2014). Method for Deriving Functional Architectures from Use Cases. *Systems Engineering*, 17(2), S. 225–236. <https://doi.org/10.1002/sys.21265>
- Land, S., Engelen, A. & Brettel, M. (2012). Top management's social capital and learning in new product development and its interaction with external uncertainties. *Industrial Marketing Management*, 41(3), S. 521–530. <https://doi.org/10.1016/j.indmarman.2011.06.007>
- Leffingwell, D. & Widrig, D. (2000). *Managing software requirements. A unified approach* (The Addison-Wesley object technology series, 5. printing). Reading, MA: Addison-Wesley.
- Lehtola, L., Kauppinen, M. & Kujala, S. (2004). Requirements Prioritization Challenges in Practice. In F. Bomarius & H. Iida (Hrsg.), *Product Focused Software Process Improvement. 5th International Conference, PROFES 2004, Kansai Science City, Japan, April 5-8, 2004. Proceedings* (Lecture Notes in Computer Science, Bd. 3009, S. 497–508). Berlin: Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-540-24659-6_36
- Lenarduzzi, V. & Taibi, D. (2016). MVP Explained: A Systematic Mapping Study on the Definitions of Minimal Viable Product. In *SEAA 2016. 42nd Euromicro Conference on Software Engineering and Advanced Applications : 31 August-2 September 2016, Limassol, Cyprus : proceedings* (S. 112–119). Piscataway, NJ: IEEE. <https://doi.org/10.1109/SEAA.2016.56>
- Levy, M. & Hazzan, O. (2009). Knowledge management in practice: The case of agile software development. In *ICSE Workshop on Cooperative and Human Aspects of Software Engineering, 2009. CHASE '09 ; Vancouver, BC, Canada, 17 May 2009 ; in conjunction with the 2009 IEEE 31st International Conference on Software Engineering (ICSE 2009), May 16 - 24, 2009* (S. 60–65). Piscataway, NJ: IEEE. <https://doi.org/10.1109/CHASE.2009.5071412>
- Lexikon der Neurowissenschaft (Spektrum Akademischer Verlag, Hrsg.). (2000). *Unsicherheit*. Zugriff am 14.11.2020. Verfügbar unter: <https://www.spektrum.de/lexikon/neurowissenschaft/unsicherheit/13440>
- Lexikon der Psychologie (Spektrum Akademischer Verlag, Hrsg.). (2000). *Unsicherheit*. Zugriff am 14.11.2020. Verfügbar unter: <https://www.spektrum.de/lexikon/psychologie/unsicherheit/16014>
- Li, P., Menon, M. & Liu, Z. (2019). Green innovation under uncertainty - a dynamic perspective. *International Journal of Services, Economics and Management*, 10(1), S. 68-88. <https://doi.org/10.1504/IJSEM.2019.098939>
- Liao, S.-H., Chang, W.-J., Hu, D.-C. & Lin, Y.-W. (2009). Developing a scale measurement of market uncertainty: A Cluster Analysis on Taiwan's financial ser-

- vices. In *IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management, 2009. IEEM 2009 ; 8 - 11 Dec. 2009, Hong Kong* (S. 2133–2137). Piscataway, NJ: IEEE. <https://doi.org/10.1109/IEEM.2009.5373137>
- Lindemann, U. (2009). *Methodische Entwicklung technischer Produkte. Methoden flexibel und situationsgerecht anwenden* (VDI-Buch, 3., korrigierte Aufl.). Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-01423-9>
- Linguee Dictionary. (2020). *Dictionary English-German*. - "viable" -. Zugriff am 21.11.2020. Verfügbar unter: <https://www.linguee.com/english-german/translation/viable.html>
- Logue, K. & McDaid, K. (2008). Handling Uncertainty in Agile Requirement Prioritization and Scheduling Using Statistical Simulation. In G. Melnik (Hrsg.), *Conference Agile, 2008. AGILE '08 ; August 4 - 8, 2008, Toronto, Ontario, Canada* (S. 73–82). Los Alamitos, Calif. [u.a.]: IEEE Computer Soc. <https://doi.org/10.1109/Agile.2008.79>
- 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>
- Lucassen, G., Dalpiaz, F., van der Werf, J. M. E. M. & Brinkkemper, S. (2016). The Use and Effectiveness of User Stories in Practice. In M. Daneva & O. Pastor (Hrsg.), *Requirements Engineering: Foundation for Software Quality* (Bd. 9619, S. 205–222). Cham: Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-30282-9_14
- Lynn, G. S. & Akgün, A. E. (1998). Innovation Strategies Under Uncertainty: A Contingency Approach for New Product Development. *Engineering Management Journal*, 10(3), S. 11–18. <https://doi.org/10.1080/10429247.1998.11414991>
- Macdonald, R. J. & Jinliang, W. (1994). Time, timeliness of innovation, and the emergence of industries. *Technovation*, 14(1), S. 37–53. [https://doi.org/10.1016/0166-4972\(94\)90069-8](https://doi.org/10.1016/0166-4972(94)90069-8)
- MacMillan, I. C. & McGrath, R. G. (2002). Crafting R&D Project Portfolios. *Research-Technology Management*, 45(5), S. 48–59. <https://doi.org/10.1080/08956308.2002.11671522>
- Marthaler, F. (2021). Zukunftsorientierte Produktentwicklung - Eine Systematik zur Ableitung von generationsübergreifenden Zielsystemen zukünftiger Produktge-

- nerationen durch strategische Vorausschau. Dissertation. In A. Albers & S. Matthiesen (Hrsg.), *Forschungsberichte des IPEK - Institut für Produktentwicklung. Systeme, Methoden, Prozesse* (Bd. 137). Karlsruhe: Karlsruher Institut für Technologie (KIT). <https://doi.org/10.5445/IR/1000134977>
- Marthaler, F., Stahl, S., Siebe, A., Bursac, N., Spadinger, M. & Albers, A. (2019). Future-oriented PGE-product Generation Engineering: An Attempt to Increase the Future User Acceptance through Foresight in Product Engineering Using the Example of the iPhone User Interface. In Design Society (Hrsg.), *Proceedings of the Design Society: 22nd International Conference on Engineering Design (ICED19). Responsible Design for Our Future, Delft, The Netherlands, 5th - 8th August 2019* (Bd. 1, S. 3641–3650). Delft, Niederlande: The Design Society. <https://doi.org/10.1017/dsi.2019.371>
- 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. 74). Karlsruhe: Karlsruher Institut für Technologie (KIT). <https://doi.org/10.5445/IR/1000045823>
- Matros, K. (2016). Entwicklung von Hybridantriebssystemen auf Basis des Pull-Prinzips der Validierung und des IPEK-X-in-the-Loop-Ansatzes. Dissertation. In A. Albers & S. Matthiesen (Hrsg.), *Forschungsberichte des IPEK - Institut für Produktentwicklung. Systeme, Methoden, Prozesse* (Bd. 95). Karlsruhe: Karlsruher Institut für Technologie (KIT). <https://doi.org/10.5445/IR/1000070001>
- Matthiesen, S. (2002). Ein Beitrag zur Basisdefinition des Elementmodells "Wirkflächenpaare & Leitstützstrukturen" zum Zusammenhang von Funktion und Gestalt technischer System. Dissertation. In A. Albers (Hrsg.), *Forschungsberichte des IPEK - Institut für Produktentwicklung. Systeme, Methoden, Prozesse* (Bd. 6). Karlsruhe: Karlsruher Institut für Technologie (KIT). <https://doi.org/10.5445/IR/12092002>
- Matthiesen, S., Gwosch, T., Mangold, S., Grauberger, P., Steck, M. & Cersowsky, S. (2017). Frontloading in der Produktentwicklung von Power-Tools durch frühe Validierung mit Hilfe von leistungskalierten Prototypen. In H. Binz, B. Bertsche, W. Bauer, D. Spath & D. Roth (Hrsg.), *Stuttgarter Symposium für Produktentwicklung SSP 2017 : Stuttgart, 29. Juni 2017, Wissenschaftliche Konferenz. Produktentwicklung im disruptiven Umfeld* (o. S.). Stuttgart: Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO. <https://doi.org/10.5445/IR/1000071442>

- McDermott, C. (2002). Managing radical innovation: an overview of emergent strategy issues. *Journal of Product Innovation Management*, 19(6), S. 424–438. [https://doi.org/10.1016/S0737-6782\(02\)00174-1](https://doi.org/10.1016/S0737-6782(02)00174-1)
- McManus, H. & Hastings, D. (2006). A framework for understanding uncertainty and its mitigation and exploitation in complex systems. *IEEE Engineering Management Review*, 34(3), S. 81–94. <https://doi.org/10.1109/EMR.2006.261384>
- Meboldt, M. (2009). Mentale und formale Modellbildung in der Produktentstehung - als Beitrag zum integrierten Produktentstehungs-Modell (iPeM). Dissertation. In A. Albers (Hrsg.), *Forschungsberichte des IPEK - Institut für Produktentwicklung. Systeme, Methoden, Prozesse* (Bd. 29). Karlsruhe: Karlsruher Institut für Technologie (KIT). <https://doi.org/10.5445/IR/1000028850>
- Meboldt, M., Matthiesen, S. & Lohmeyer, Q. (2012). The Dilemma of Managing Iterations in Time-to-market Development Processes. In P. Heidig & P. J. Clarkson (Hrsg.), *Proceedings of the 2nd International Conference on Modelling and Management of Engineering Processes. Concepts, Tools and Case Studies* (S. 127–140). Cambridge, UK: Engineering Design Centre, University of Cambridge. <https://doi.org/10.3929/ethz-a-009774163>
- Menzefricke, J. S., Frank, M., Drewel, M. & Dumitrescu, R. (2020). Value-centered design of a digital service robotics platform. In K. Mpofu & P. Butala (Hrsg.), *Procedia CIRP. 30th CIRP Conference on Design (CIRP Dn 2020) Enhancing design through the 4th Industrial Revolution Thinking* (Bd. 91, S. 690–695). <https://doi.org/10.1016/j.procir.2020.02.226>
- Metzler Lexikon Philosophie (Springer-Verlag Deutschland GmbH, Hrsg.). (2008). *Unsicherheit*. Zugriff am 14.11.2020. Verfügbar unter: <https://www.spektrum.de/lexikon/philosophie/unsicherheit/2104>
- Meyer, M., Wiederkehr, I., Koldewey, C. & Dumitrescu, R. (2022). Planning the Analysis of Use Phase Data in Product Planning. *Proceedings of the Design Society*, 2, 753–762. <https://doi.org/10.1017/pds.2022.77>
- Mikulić, J. & Prebežac, D. (2011). A critical review of techniques for classifying quality attributes in the Kano model. *Managing Service Quality: An International Journal*, 21(1), S. 46–66. <https://doi.org/10.1108/09604521111100243>
- Miller, G. A. (2013). *Plans and the structure of behavior* (Reprint). Eastford (CT) USA: Martino Fine Books.
- Miranda, A. P. de (2004). Requirement Management a Challenge to the Product Development Engineering. In A. de Jesus Teixeira, M. L. de Oliveira e Souza & Á. P. Oliva (Hrsg.), *Eigenstructure Techniques for Fault Detection and Isolation*

- in *Aerospace and Automotive Systems. SAE Technical Paper Series [SAE International 2004 SAE Brasil Congress and Exhibit - (NOV. 16, 2004) (SAE Technical Paper Series)*. <https://doi.org/10.4271/2004-01-3428>
- Miski, A. (2014). Development of a Mobile Application Using the Lean Startup Methodology. *International Journal of Scientific & Engineering Research.*, 5(1), S. 1743–1748.
- Moenaert, R. K., Meyer, A. de, Souder, W. E. & Deschoolmeester, D. (1995). R&D/marketing communication during the fuzzy front-end. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 42(3), S. 243–258. <https://doi.org/10.1109/17.403743>
- Moogk, D. R. (2012). Minimum Viable Product and the Importance of Experimentation in Technology Startups. *Technology Innovation Management Review*, 2, S. 23–26. <https://doi.org/10.22215/timreview/535>
- Moon, S. K. & McAdams, D. A. (2010). Universal Product Family Design Valuation in an Uncertain Market Environment. In *Proceedings of the ASME International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference - 2010. Presented at ASME 2010 International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference, August 15 - 18, 2010, Montreal, Quebec, Canada* (Bd. 1, S. 891–900). New York, NY: ASME. <https://doi.org/10.1115/DETC2010-28682>
- Morris, P., Masera, M. & Wilikens, M. (1998). Requirements engineering and industrial uptake. *Requirements Engineering*, 3(2), S. 79–83. <https://doi.org/10.1007/BF02919966>
- Muschik, S. (2011). Development of Systems of Objectives in Early Product Engineering. In A. Albers (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>
- Nielsen, L. (2018). Design Personas – New Ways, New Contexts. *Persona Studies*, 4(2), S. 1–4. <https://doi.org/10.21153/psj2018vol4no2art799>
- Oerding, J. (2009). Ein Beitrag zum Modellverständnis der Produktentstehung - Strukturierung von Zielsystemen mittels C&CM. Dissertation. In A. Albers (Hrsg.), *Forschungsberichte des IPEK - Institut für Produktentwicklung. Systeme, Methoden, Prozesse* (Bd. 37). Karlsruhe: Karlsruher Institut für Technologie (KIT). <https://doi.org/10.5445/IR/1000013689>
- Oriani, R. & Sobrero, M. (2008). Uncertainty and the market valuation of R&D within a real options logic. *Strategic Management Journal*, 29(4), S. 343–361. <https://doi.org/10.1002/smj.664>

- Osterloh, M. & Wartburg, I. von (1997). Metaphorical focusing devices for novel product conceptualization. In *Portland International Conference on Management of Engineering and Technology (PICMET). Innovation in Technology Management. The Key to Global Leadership. PICMET '97; 31-31 July 1997* (S. 423–426). <https://doi.org/10.1109/PICMET.1997.653447>
- Ovesen, N. & Dowlen, C. (2012). The Challenges of Becoming Agile – Experiences from New Product Development in Industry and Design Education. In L. Buck (Hrsg.), *Design education for future wellbeing. Proceedings of the 14th International Conference on Engineering and Product Design Education, Artesis University College, Antwerp, Belgium, 6th - 7th September 2012* (DS / Design Society, Bd. 74, S. 9–14). Glasgow: Design Society.
- Patzak, G. (1982). *Systemtechnik — Planung komplexer innovativer Systeme*. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-81893-6>
- Peglow, N., Powelske, J., Birk, C., Albers, A. & Bursac, N. (2017). Systematik zur Systematik zur Differenzierung von Varianten im Kontext der PGE - Produktgenerationsentwicklung. In K. Brökel, K.-H. Grote, R. Stelzer, F. Rieg, J. Feldhusen, J. Müller et al. (Hrsg.), *15. Gemeinsames Kolloquium Konstruktionstechnik 2017. Interdisziplinäre Produktentwicklung* (S. 9–18). Duisburg-Essen: DuEPublico: Duisburg-Essen Publications Online, University of Duisburg-Essen, Germany.
- Penzenstadler, B. & Eckhardt, J. (2012). A Requirements Engineering content model for Cyber-Physical Systems. In *2012 IEEE Second Workshop on Requirements Engineering for Systems, Services, and Systems-of-Systems (RESS). 25 Sept. 2012, Chicago, Illinois, USA ; [co-located with the 20th IEEE International Requirements Engineering Conference, September 24th - 28th, 2012* (S. 20–29). Piscataway, NJ: IEEE. <https://doi.org/10.1109/RES4.2012.6347692>
- Peterson, C., Paasch, R. K., Ge, P. & Dietterich, T. G. (2007). Product Innovation for Interdisciplinary Design Under Changing Requirements. In Bocquet & J.-C. (Hrsg.), *Proceedings of ICED 2007, the 16th International Conference on Engineering Design, Paris, France, 28.-31.07.2007* (S. 861–862). Paris, Frankreich: The Design Society.
- Petrovicic, D. A.N., Obal, M., Walton, B. & Fearne, A. (2020). The Role of Market Knowledge Type on Product Innovation Performance. *International Journal of Innovation Management*, 24(05), n. p. <https://doi.org/10.1142/S1363919620500462>
- Pohl, K. (2007). *Requirements engineering. Grundlagen, Prinzipien, Techniken* (1. Aufl.). Heidelberg: dpunkt.verlag.

- Ponn, J. & Lindemann, U. (2011). *Konzeptentwicklung und Gestaltung technischer Produkte. Systematisch von Anforderungen zu Konzepten und Gestaltungs-lösungen* (VDI-Buch, 2. Aufl.). Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag.
<https://doi.org/10.1007/978-3-642-20580-4>
- Ponomarev, A. (2019, 9. Dezember). *How Zappos Built a Product By Faking It*, Rocket Startup. Zugriff am 20.06.2021. Verfügbar unter: <https://medium.com/rocket-startup/how-zappos-built-a-product-by-faking-it-d3fd692a1fed>
- Poole, R. (2012). Global Mindset: An Entrepreneur's Perspective on the Born-Global Approach. *Technology Innovation Management Review*, 2, S. 27–31. <https://doi.org/10.22215/timreview/617>
- Poskela, J. (2008). Strategic renewal and management control in the front-end of innovation: The importance of input control mechanisms. In D. F. Kocaoglu (Hrsg.), *Portland International Conference on Management of Engineering & Technology, 2008. PICMET 2008 ; Cape Town, South Africa, 27 - 31 July 2008* (S. 1161–1170). Piscataway, NJ: IEEE Service Center.
<https://doi.org/10.1109/PICMET.2008.4599726>
- Proff, H. & Fojcik, T. M. (2016). Pricing and commercialisation of electric mobility - dealing with high market uncertainty. *International Journal of Automotive Technology and Management*, 16(1), S. 30-54. <https://doi.org/10.1504/IJATM.2016.076446>
- Pruitt, J. & Grudin, J. (2003). Personas: Practice and Theory. In J. Arnowitz, A. Chalmers, T. Swack, R. Anderson & J. Zapolski (Hrsg.), *DUX'03: Proceedings of the 2003 conference on Designing for user experiences. San Francisco California; June 6 - 7, 2003* (ACM Conferences, S. 1–15). New York, NY: ACM.
<https://doi.org/10.1145/997078.997089>
- R+V24 Das Magazin. (2015). *Autoradios im Wandel der Zeit*. Zugriff am 21.10.20. Verfügbar unter: <https://magazin.rv24.de/2015/03/03/autoradios-im-wandel-der-zeit/14135/>
- Ramesh, B., Cao, L. & Baskerville, R. (2010). Agile requirements engineering practices and challenges: an empirical study. *Information Systems Journal*, 20(5), S. 449–480. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2575.2007.00259.x>
- Rapp, S. M. (2021). Beitrag zur empirisch basierten Planung, Steuerung und methodischen Unterstützung von Variationen auf der Basis eines Referenzsystems im Modell der PGE. Produktgenerationsentwicklung. Dissertation. In A. Albers & S. Matthiesen (Hrsg.), *Forschungsberichte des IPEK - Institut für Produktentwicklung. Systeme, Methoden, Prozesse* (Bd. 136). Karlsruhe: Karlsruher Institut für Technologie (KIT). <https://doi.org/10.5445/IR/1000134971>

- Redling, T. J. (2003). A methodology for developing new product line requirements through gap analysis. In *The 22nd Digital Avionics Systems Conference : proceedings : Indianapolis, IN, October 12-16, 2003* (Bd. 2, S. 10.A.1-101-11). Piscataway, NJ: IEEE. <https://doi.org/10.1109/DASC.2003.1245927>
- Rein, A.-D. & Münch, J. (2013). Feature Prioritization Based on Mock-Purchase: A Mobile Case Study. In K. Conboy, K. Power, R. Valerdi, L. Morgan, K.-J. Stol & B. Fitzgerald (Hrsg.), *Lean Enterprise Software and Systems. 4th International Conference, LESS 2013, Galway, Ireland, December 1-4, 2013, Proceedings* (Springer eBook Collection Computer Science, Bd. 167, Bd. 167, S. 165–179). Berlin, Heidelberg: Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-642-44930-7_11
- Reinemann, J., Hirschter, T., Mandel, C., Heimicke, J. & Albers, A. (2018). Methodische Unterstützung zur Produktvalidierung in AR-Umgebungen in der Frühen Phase der PGE-Produktgenerationsentwicklung. In D. Krause, K. Paetzold & S. Wartzack (Hrsg.), *Design for X - Beiträge zum 29. DfX-Symposium September 2018. Tutzingen, 25-26.09.2018* (S. 307–320). Neubiberg: TuTech Verlag TuTech Innovation GmbH.
- Reinhart, G., Lindemann, U. & Heinzl, J. (1996). *Qualitätsmanagement. Ein Kurs für Studium und Praxis*. Berlin, Heidelberg: Shaker Verlag. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-80210-2>
- Reiß, N. (2018). Ansätze zur Steigerung der Methodenakzeptanz in agilen Prozessen der PGE - Produktgenerationsentwicklung. Dissertation. In A. Albers & S. Matthiesen (Hrsg.), *Forschungsberichte des IPEK - Institut für Produktentwicklung. Systeme, Methoden, Prozesse* (Bd. 112). Karlsruhe: Karlsruher Institut für Technologie (KIT). <https://doi.org/10.5445/IR/1000084762>
- Richter, T., Rapp, S., Kurtz, V., Romanov, V. & Albers, A. (2019). Creating innovative products with reference system elements - a case study on approaches in practice. In G. D. Putnik (Hrsg.), *Procedia Cirp. 29th CIRP Design Conference 2019, 08-10 May 2019, Póvoa de Varzim, Portugal* (Bd. 84, S. 804–809). <https://doi.org/10.1016/j.procir.2019.04.259>
- Ries, E. (2009). *What is the Minimum Viable Product*. Zugriff am 28.10.2020. Verfügbar unter: <https://venturehacks.com/minimum-viable-product>
- Ries, E. (TechCrunch, Hrsg.). (2011a). *How Dropbox Started As A Minimal Viable Product*. Zugriff am 21.11.2020. Verfügbar unter: https://techcrunch.com/2011/10/19/dropbox-minimal-viable-product/?guce_referrer=aHR0cHM6Ly93d3cuZ29vZ2xILm-RIL3Vybd9zYT10JnJjdD1qJnE9JmVzcmM9cyZzb3VyY2U9d2ViJmNkPSZ2ZlRl3WQ9MmFoVUtFd2pJenVXX2lwVHRBaFVlcWFRS0haS1dESXdRd-

HdJd0FIb0VDQVFRQWcmdXJsPWh0dHBzJTNBJTJGJTJGdGVjaG-NydW5jaC5jb20IMkYyMDExJTJGMTAImkYxOSUyRm-Ryb3Bib3gtbWluaW1hbC12aWFibGUtcHJvZHVjdCUy-RiZ1c2c9QU92VmF3MDJ5UTZHZNy3JyWWFNZmNWMVruMw&guce_re-ferrer_sig=AQAAAMxDIA-iCwmhGli8dVzrTcsDSLII01cZvnBY2J1BwoGdDSt-wRD1pL7IsozoTFHYX4pO7Wrb_H0Dplu79AioykWk-birAIYgPf3SbqTNWY4dqf-wb7758RzqY95gx_VM2pQgHutBGoSnEK8HntuUs-rDAVgev81s2M03hYv1LqZkk7A&renderMode=ie11&guccounter=2

- Ries, E. (2011b). *The lean startup. How today's entrepreneurs use continuous innovation to create radically successful businesses* (1. Aufl.). USA: Crown Business.
- Ries, E. (2019). *Lean startup. Schnell, risikolos und erfolgreich Unternehmen gründen* (6. Auflage). München: Redline Verlag.
- Ritala, P. (2011). Coopetition Strategy – When is it Successful? Empirical Evidence on Innovation and Market Performance. *British Journal of Management*, 23(3), S. 307–324. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8551.2011.00741.x>.
- Robertson, S. & Robertson, J. (2011). *Mastering the requirements process* (2. ed., 9. print). Upper Saddle River, NJ: Addison-Wesley.
- Robinson, F. (2001). *A Proven Methodology to Maximize Return on Risk*. Zugriff am 28.10.2020. Verfügbar unter: <http://www.syncdev.com/minimum-viable-product/>
- Ropohl, G. (1975). Einleitung in die Systemtechnik. In G. Ropohl (Hrsg.), *Systemtechnik. Grundlagen und Anwendung* (S. 1–77). München: Hanser.
- Ropohl, G. (2009). *Allgemeine Technologie: Eine Systemtheorie der Technik* (3. Aufl.). Karlsruhe: Univ.-Verlag Karlsruhe.
- Rupp, C. (2009). *Requirements-Engineering und -Management. Professionelle, iterative Anforderungsanalyse für die Praxis* (5., aktualisierte und erw. Aufl.). München: Hanser.
- Ryoo, J. (2017). Choosing between internal and external development for innovation projects: antecedents and consequences. *Asia Pacific Business Review*, 23(1), S. 90–115. <https://doi.org/10.1080/13602381.2015.1109818>
- Sacha, D., Senaratne, H., Kwon, B. C., Ellis, G. & Keim, D. A. (2016). The Role of Uncertainty, Awareness, and Trust in Visual Analytics. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 22(1), S. 240–249. <https://doi.org/10.1109/TVCG.2015.2467591>
- Sanchez, R. (2008). Modularity in the mediation of market and technology change. *International Journal of Technology Management*, 42(4), S. 331–364. <https://doi.org/10.1504/IJTM.2008.019380>

- Sandulli, F. D., Fernandez-Menendez, J., Rodriguez-Duarte, A. & Lopez-Sanchez, J. I. (2012). Testing the Schumpeterian hypotheses on an open innovation framework. *Management Decision*, 50(7), S. 1222–1232. <https://doi.org/10.1108/00251741211246978>
- Schadwinkel, A., Stahnke, J., Blickle, P. & Venohr, S. (Friedmann, J., Rebmann, R. & Schaub, T., Hrsg.). (2018, 3. August). *Wetter in Deutschland Der nächste Hitzerekord kommt bestimmt*, Zeitverlag Gerd Bucerius GmbH & Co. KG. Zugriff am 19.06.2021. Verfügbar unter: <https://www.zeit.de/wissen/umwelt/2018-08/wetter-hitze-juli-deutschland-rekord-sommer-klimawandel>
- Schmidt, T. S., Atzberger, A., Gerling, C., Schrof, J., Weiss, S. & Paetzold, K. (2019). *Agile Development of Physical Products. An Empirical Study about Potentials, Transition and Applicability*. Neuberg: Universitätsbibliothek der Universität der Bundeswehr München.
- Schmidt, T. S., Chahin, A., Kößler, J. & Paetzold, K. (2017). Agile development and the constraints of physicality: A network theory-based cause-and-effect analysis. In A. Maier, S. Skec, H. Kim, M. Kokkolaras, J. Oehmen & G. Fadel (Hrsg.), *Proceedings of the 21st International Conference on Engineering Design (ICED17). VOLUME 4: Design Methods and Tools, Vancouver, Canada, 21.-25.08.2017* (S. 199-208). Glasgow: The Design Society.
- Schmidt, T. S. & Paetzold, K. (2016). Agilität als Alternative zu traditionellen Standards in der Entwicklung physischer Produkte: Chancen und Herausforderungen. In D. Krause, K. Paetzold & S. Wartzack (Hrsg.), *Design for X - Beiträge zum 27. DfX-Symposium Oktober 2016. Jesteburg; 5-6 Oktober 2016* (S. 255–267). Hamburg: TuTech Verlag.
- Schoenherr, T. & Wagner, S. M. (2016). Supplier involvement in the fuzzy front end of new product development: An investigation of homophily, benevolence and market turbulence. *International Journal of Production Economics*, 180(9), S. 101–113. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2016.06.027>
- Schön, E.-M., Winter, D., Escalona, M. J. & Thomaschewski, J. (2017). Key Challenges in Agile Requirements Engineering. In H. Baumeister, H. Lichter & M. Riebisch (Hrsg.), *Agile Processes in Software Engineering and Extreme Programming: 18th International Conference, XP 2017, Cologne, Germany, May 22-26, 2017, Proceedings* (Lecture Notes in Business Information Processing, Bd. 283, S. 37–51). Springer Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-57633-6_3
- Schuh, G., Prote, J.-P., Dany, S., Molitor, M. & Pagano, L. (2017). Adaptation of a product maturity model to highly iterative product development. In *2017 IEEE*

- International Conference on Industrial Engineering & Engineering Management. IEEE IEEM2017 : 10-13 Dec, Singapore* (S. 485–489). Piscataway, NJ: IEEE. <https://doi.org/10.1109/IEEM.2017.8289938>
- Schumpeter, J. A. (1939). *Business Cycles. A Theoretical, Historical and Statistical Analysis of the Capitalist Process*. New York: McGraw-Hill.
- Schwaber, K. & Sutherland, J. (2020). *The Scrum Guide. The Definitive Guide to Scrum: The Rules of the Game*. Verfügbar unter: <https://scrumguides.org/docs/scrumguide/v2020/2020-Scrum-Guide-US.pdf>
- Sheng, S., Zhou, K. Z. & Lessassy, L. (2013). NPD speed vs. innovativeness: The contingent impact of institutional and market environments. *Journal of Business Research*, 66(11), S. 2355–2362. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2012.04.018>
- Shi, X. & Shen, B. (2019). Product upgrading or not: R&D tax credit, consumer switch and information updating. *International Journal of Production Economics*, 213(2), S. 13–22. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2019.02.015>
- Sicotte, H. & Bourgault, M. (2008). Dimensions of uncertainty and their moderating effect on new product development project performance. *R&D Management*, 38(5), S. 468–479. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9310.2008.00531.x>
- Skeels, M., Lee, B., Smith, G. & Robertson, G. G. (2010). Revealing Uncertainty for Information Visualization. *Information Visualization*, 9(1), S. 70–81. <https://doi.org/10.1057/ivs.2009.1>
- SolutionsIQ. (2015). *Agile Story Card Templates*. Zugriff am 18.08.2021. Verfügbar unter: <https://www.solutionsiq.com/learning/blog-post/agile-story-card-templates/>
- Song, Y.-W., Herzog, M. & Bender, B. (2019). Understanding the Initial Requirements Definition in Early Design Phases. In Design Society (Hrsg.), *Proceedings of the Design Society: 22nd International Conference on Engineering Design (ICED19). Responsible Design for Our Future, Delft, The Netherlands, 5th - 8th August 2019* (Bd. 1, S. 3751–3760). Delft, Niederlande: The Design Society. <https://doi.org/10.1017/dsi.2019.382>
- Souder, W. E. (1988). Managing relations between R&D and marketing in new product development projects. *Journal of Product Innovation Management*, 5(1), S. 6–19. [https://doi.org/10.1016/0737-6782\(88\)90029-X](https://doi.org/10.1016/0737-6782(88)90029-X)
- Souder, W. E., Sherman, J. D. & Davies-Cooper, R. (1998). Environmental Uncertainty, Organizational Integration, and New Product Development Effectiveness: A Test of Contingency Theory. *Journal of Product Innovation Management*, 15(6), S. 520–533. <https://doi.org/10.1111/1540-5885.1560520>

- Souza, G. C., Bayus, B. L. & Wagner, H. M. (2004). New-Product Strategy and Industry Clockspeed. *Management Science*, 50(4), S. 537–549.
<https://doi.org/10.1287/mnsc.1030.0172>
- Stachowiak, H. (1973). *Allgemeine Modelltheorie*. Wien: Springer Verlag.
- Stechert, C. (2010). *Modellierung komplexer Anforderungen* (Dissertation. Bericht Institut für Konstruktionstechnik, Technische Universität Braunschweig, Bd. 75). Braunschweig. <https://doi.org/10.24355/dbbs.084-201007271039-0>
- Suh, E. S., Weck, O. L. de & Chang, D. (2007). Flexible product platforms: framework and case study. *Research in Engineering Design*, 18(2), S. 67–89.
<https://doi.org/10.1007/s00163-007-0032-z>
- Suh, N. P. (1999). A Theory of Complexity, Periodicity and the Design Axioms. *Research in Engineering Design*, 11(2), S. 116–132.
<https://doi.org/10.1007/PL00003883>
- Sutcliffe, A. (1996). A conceptual framework for requirements engineering. *Requirements Engineering*, 1(3), S. 170–189. <https://doi.org/10.1007/BF01236426>
- Takeuchi, H. & Nonaka, I. (1986). The new new product development game. *Harvard business review*, 64(1), S. 137–146.
- Tansurat, P. & Gerdri, N. (2019). Extended Techniques to Enhance Technology Roadmapping: Research Opportunities and Challenges. In D. F. Kocaoglu (Hrsg.), *Technology management in the world of intelligent systems. Proceedings : PICMET '19 : Portland International Conference on Management of Engineering and Technology - 25-29 Aug. 2019, Portland* (S. 1–8). Piscataway, NJ: IEEE. <https://doi.org/10.23919/PICMET.2019.8893813>
- Tokunaga, T. & Fujimura, S. (2015). The Principle of Modularity. In T. R. Browning, S. D. Eppinger, D. M. Schmidt & U. Lindemann (Hrsg.), *Modeling and managing complex systems. Proceedings of the 17th International DSM Conference Fort Worth (Texas, USA), 4-6 November 2015* (S. 255–265). München: Hanser; Ciando. <https://doi.org/10.3139/9783446447264.023>
- Tsai, M.-T. & Huang, Y.-C. (2008). Exploratory learning and new product performance: The moderating role of cognitive skills and environmental uncertainty. *The Journal of High Technology Management Research*, 19(2), S. 83–93.
<https://doi.org/10.1016/j.hitech.2008.10.001>
- Tseng, M. M. & Jiao, J. (1997). A variant approach to product definition by recognizing functional requirement patterns. *Computers & Industrial Engineering*, 33(3-4), S. 629–633. [https://doi.org/10.1016/S0360-8352\(97\)00209-X](https://doi.org/10.1016/S0360-8352(97)00209-X)
- Ullman, D. (2009). Design: The Evolution of Information Punctuated by Decisions. In M. Norell Bergendahl, M. Grimheden, L. Leifer, P. Skogstad & U. Lindemann

- (Hrsg.), *Proceedings of the 17th International Conference on Engineering Design' ICED'09, Vol 5: Design Methods and Tools, Part 1*, 5 5-61 (Design Society, Bd. 58, S. 181–192). Palo Alto, CA, USA: Design Society.
- Varis, J., Virolainen, V.-M. & Puumalainen, K. (2004). In search for complementarities—partnering of technology-intensive small firms. *International Journal of Production Economics*, 90(1), S. 117–125.
<https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2004.02.001>
- VDI 2206 (2004). *VDI 2206 Entwicklungsmethodik für mechatronische Systeme*. Berlin: Beuth Verlag GmbH.
- VDI 2221 (2019). *VDI 2221 Blatt 1. Entwicklung technischer Produkte und Systeme. Modell der Produktentwicklung*. Berlin: Beuth Verlag GmbH.
- VDI 2221 (2019). *VDI 2221 Blatt 2. Entwicklung technischer Produkte und Systeme. Modell der Produktentwicklung*. Berlin: Beuth Verlag GmbH.
- VDI/VDE 3694 (2014-04). *VDI/VDE 3694:2014-04. Lastenheft/Pflichtenheft für den Einsatz von Automatisierungssystemen*. Berlin: Beuth Verlag GmbH.
- Verworn, B. (2009). A structural equation model of the impact of the “fuzzy front end” on the success of new product development. *Research Policy*, 38(10), S. 1571–1581. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2009.09.006>
- Verworn, B. & Herstatt, C. (2007). Strukturierung und Gestaltung der frühen Phasen des Innovationsprozesses. In C. Herstatt & B. Verworn (Hrsg.), *Management der frühen Innovationsphasen. Grundlagen - Methoden - Neue Ansätze* (2nd ed., S. 111–134). Wiesbaden: Gabler Verlag. https://doi.org/10.1007/978-3-8349-9293-2_6
- Vithana, N. V. (2015). Scrum Requirements Engineering Practices and Challenges in Offshore Software Development. *International Journal of Computer Applications*, 116(22), S. 43–49. <https://doi.org/10.5120/20472-2649>
- Walcher, D. (2007). *Der Ideenwettbewerb als Methode der aktiven Kundenintegration. Theorie, empirische Analyse und Implikationen für den Innovationsprozess* (Dissertation. Markt- und Unternehmensentwicklung Markets and Organisations, 1. Aufl.). s.l.: DUV Deutscher Universitäts-Verlag; DUV.
<https://doi.org/10.1007/978-3-8350-9442-0>
- Walter, B., Albers, A., Haupt, F. & Bursac, N. (2016). Produktentwicklung im virtuellen Ideenlabor - Konzipierung und Implementierung eines Live-Lab. In D. Krause, K. Paetzold & S. Wartzack (Hrsg.), *Design for X - Beiträge zum 27. DfX-Symposium Oktober 2016. Jesteburg; 5-6 Oktober 2016* (S. 283–295). Hamburg: TuTech Verlag.
- Walter, B., Albers, A., Schelleis, A. & Kurrle, A. (2017). Efficient Use of Sounding Board Method at Project Milestones and its Potentials for Virtualization. In E.

- Shehab, T. Tomiyama, H. Lockett, K. Salonitis, R. Roy & A. Tiwari (Hrsg.), *Complex Systems Engineering and Development Proceedings of the 27th CIRP Design Conference* (Bd. 60, S. 284–289). <https://doi.org/10.1016/j.procir.2017.02.004>
- Wang, Q. & Xie, J. (2011). Will Consumers be Willing to Pay more when your Competitors Adopt your Technology? The Impacts of the Supporting-Firm Base in Markets with Network Effects. *Journal of Marketing*, 75(5), S. 1–17. <https://doi.org/10.1509/jmkg.75.5.1>
- Wang, X., Zhao, L., Wang, Y. & Sun, J. (2014). The Role of Requirements Engineering Practices in Agile Development: An Empirical Study. In D. Zowghi & Z. Jin (Hrsg.), *Requirements Engineering. First Asia Pacific Requirements Engineering Symposium, APRES 2014, Auckland, New Zealand, April 28-29, 2014. Proceedings* (Bd. 432, S. 195–209). Berlin/Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-662-43610-3_15
- Webb, J. R. (2016). Scrapping new product development efforts: when to keep going, when to fold. *Journal of Business Strategy*, 37(4), S. 32–40. <https://doi.org/10.1108/JBS-09-2014-0104>
- Weber, M. & Weisbrod, J. (2003). Requirements engineering in automotive development: experiences and challenges. *IEEE Software*, 20(1), S. 16–24. <https://doi.org/10.1109/MS.2003.1159025>
- Weck, O. de, Eckert, C. & Clarkson, P. J. (2007). A Classification of Uncertainty for Early Product and System Design. In Bocquet & J.-C. (Hrsg.), *Proceedings of ICED 2007, the 16th International Conference on Engineering Design, Paris, France, 28.-31.07.2007* (S. 159–160). Paris, Frankreich: The Design Society.
- Wei, Z. & Zhang, L. (2020). How to perform strategic change? A strategy as practice perspective. *Chinese Management Studies*, 14(3), S. 811–832. <https://doi.org/10.1108/CMS-04-2019-0140>
- Weiß, S. (2006). *Konzept und Umsetzung eines Navigators für Wissen in der Produktentwicklung* (Dissertation. Berichte aus dem Fachgebiet Produktentwicklung und Maschinenelemente der TU Darmstadt, Bd. 386). Zugl.: Darmstadt, Techn. Univ., Diss., 2006. Düsseldorf: VDI-Verl.
- Wesner, E. (1977). *Die Planung von Marketing-Strategien auf der Grundlage des Modells des Produktlebenszyklus* (Dissertationsschrift: Freie Universität Berlin).
- Wiebel, M., Eifler, T., Mathias, J., Kloberdanz, H., Bohn, A. & Birkhofer, H. (2013). Modellierung von Unsicherheit in der Produktentwicklung. Ein Vergleich zwischen Wahrscheinlichkeitstheorie und Möglichkeitstheorie. In S. Jeschke, E.-M. Jakobs & A. Dröge (Hrsg.), *Exploring Uncertainty* (S. 245–269). Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden.

- Wiegiers, K. E. (1999). First things first: prioritizing requirements. *Software Development*, 7(9), S. 48–53.
- Wiegiers, K. E. & Beatty, J. (2013). *Software requirements* (Best practices, 3. ed.). Redmond, Wash.: Microsoft Press.
- Wilmsen, M., Duehr, K. & Albers, A. (2019). A context-model for adapting design processes and methods. In G. D. Putnik (Hrsg.), *Procedia Cirp. 29th CIRP Design Conference 2019, 08-10 May 2019, Póvoa de Varzim, Portugal* (Bd. 84, S. 428–433). <https://doi.org/10.1016/j.procir.2019.04.243>
- Wynn, D. C. & Eckert, C. M. (2017). Perspectives on iteration in design and development. *Research in Engineering Design*, 28(2), S. 153–184. <https://doi.org/10.1007/s00163-016-0226-3>
- Wynn, D. C., Grebici, K. & Clarkson, P. J. (2011). Modelling the evolution of uncertainty levels during design. *International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJIDeM)*, 5(3), S. 187–202. <https://doi.org/10.1007/s12008-011-0131-y>
- Xie, L., Zhou, J., Zong, Q. & Lu, Q. (2020). Gender diversity in R&D teams and innovation efficiency: Role of the innovation context. *Research Policy*, 49(1). <https://doi.org/10.1016/j.respol.2019.103885>
- Yang, Q., Shan, C., Jiang, B., Yang, N. & Yao, T. (2018). Managing the complexity of new product development project from the perspectives of customer needs and entropy. *Concurrent Engineering*, 26(4), S. 328–340. <https://doi.org/10.1177/1063293X18798001>
- Zangemeister, C. (1972). Systemtechnik — eine Methodik zur zweckmäßigen Gestaltung komplexer Systeme. In K. Bleicher (Hrsg.), *Organisation als System* (Organization und Führung, S. 199–214). Wiesbaden: Gabler Verlag. https://doi.org/10.1007/978-3-322-86022-4_12
- Zave, P. (1997). Classification of research efforts in requirements engineering. *ACM Computing Surveys*, 29(4), S. 315–321. <https://doi.org/10.1145/267580.267581>
- Zeschky, M., Widenmayer, B. & Gassmann, O. (2011). Frugal Innovation in Emerging Markets. *Research-Technology Management*, 54(4), S. 38–45. <https://doi.org/10.5437/08956308X5404007>
- Zimmermann, V., Heimicke, J., Alink, T., Dufner, Y. & Albers, A. (2019). Agile Development of Mechatronic Systems: Utopia or Reality - an Evaluation from Industrial Practices. In *Proceedings of R&D Management Conference 2019. The Innovation Challenge: Bridging Research, Industry and Society; Paris, France - 17 - 21 June 2019* (o. S.). Paris, Frankreich.

- Zimmermann, V., Heimicke, J., Bohn, R., Schuhmacher, L., Trost, S. & Albers, A. (2020). Herausforderungen des agilen und sequentiellen Zielsystem und Anforderungsmanagements. In B. Corves, K. Gericke, K.-H. Grote, A. Lohrengel, M. Löwer, A. Nagarajah et al. (Hrsg.), *18. Gemeinsames Kolloquium Konstruktionstechnik 2020. Nachhaltige Produktentwicklung* (S. 245–258). Duisburg-Essen: DuEPublico: Duisburg-Essen Publications online.
- Zimmermann, V., Heimicke, J., Schnurr, T., Bursac, N. & Albers, A. (2021). Minimum Viable Products in Mechatronic Systems Engineering: Approach for Early and Continuous Validation. In *Proceedings of R&D Management Conference 2021. Innovation in Era of Disruption; Glasgow, Scotland - July, 6-8, 2021* (o. S.). Glasgow, Schottland.
- Zimmermann, V., Kempf, C., Hartmann, L., Bursac, N. & Albers, A. (2021). Umgang mit Marktunsicherheiten in der Zielsystementwicklung: Methode zur Reduktion von Definitionslücken bei der Konkretisierung des Initialen Zielsystems. In R. H. Stelzer & J. Krzywinski (Hrsg.), *Entwerfen Entwickeln Erleben in Produktentwicklung und Design 2021. Konferenz Entwerfen Entwickeln Erleben - EEE2019. Dresden, 17. - 18. Juni 2021* (S. 21–33). Dresden: TUDpress. <https://doi.org/10.25368/2021.8>
- Zimmermann, V., Kempf, C., Lutz, S., Bursac, N. & Albers, A. (2021). Dealing with Market Uncertainty in Product Development - A Systematic Literature Review. In *Proceedings of R&D Management Conference 2021. Innovation in Era of Disruption; Glasgow, Scotland - July, 6-8, 2021* (o. S.). Glasgow, Schottland.
- Zimmermann, V., Prinz, R. & Albers, A. (2020). Methode zur gezielten Identifikation von Marktunsicherheiten zur Unterstützung der Zielsystementstehung. In D. Krause, K. Paetzold & S. Wartzack (Hrsg.), *Design for X - Beiträge zum 31. DfX-Symposium Oktober 2020. Bamberg, 16-17.09.2020* (S. 209–218). Bamberg: TuTech Verlag TuTech Innovation GmbH. <https://doi.org/10.35199/dfx2020.22>
- Zingel, J. C. (2013). Basisdefinition einer gemeinsamen Sprache der Produktentwicklung im Kontext der Modellbildung technischer Systeme und einer Modellierungstechnik für Zielsystem und Objektsystem technischer Systeme in SysML auf Grundlage des ZHO-Prinzips. Dissertation. In A. Albers & S. Matthiesen (Hrsg.), *Forschungsberichte des IPEK - Institut für Produktentwicklung. Systeme, Methoden, Prozesse* (Bd. 70). Karlsruhe: Karlsruher Institut für Technologie (KIT). <https://doi.org/10.5445/IR/1000037421>

- Ziv, H., Richardson, D. & Klösch, R. (1997). The Uncertainty Principle in Software Engineering. In *ICSE 97. 19th Annual Conference on Software Engineering; Boston Massachusetts USA May 17 - 23, 1997* (o. S.). New York: Association for Computing Machinery. Verfügbar unter: <https://www.salmanq.com/2005/02/upswh.pdf>
- Żółciak, A. (2018). *10 Practical Examples of Why MVP Startups Rock*, InsaneLab. Zugriff am 20.06.2021. Verfügbar unter: <https://insanelab.com/blog/team-augmentation/mvp-startup-examples/>

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

- Bohn, R. (2019). *Potentiale und Herausforderungen des agilen Anforderungs- und Zielsystemmanagemnt in der Mechatroniksystementwicklung*. Unveröffentlichte Bachelorarbeit. Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Karlsruhe.
- Dufner, Y. (2019). *Ansätze zur Kommunikation des Projekt-ziels in agilen Entwicklungsprojekten der Hekatron Vertriebs GmbH*. Unveröffentlichte Studienarbeit T2000. Duale Hochschule Baden-Württemberg (DHBW), Lörrach.
- Hartmann, L. (2021). *Methode zur systematischen Konkretisierung von Zielsystemen durch die Integration von Kunden und Anwendern in die Ziel- und Anforderungserhebung*. Unveröffentlichte Masterarbeit. Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Karlsruhe.
- Hayek, H. (2020). *Anwendung von Minimum Viable Products zur frühen und kontinuierlichen Validierung in der Entwicklung von mobilen Brechanlagen*. Unveröffentlichte Masterarbeit. Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Karlsruhe.
- Jia, H. (2019). *Methode zur Priorisierung von Zielen und Anforderungen in Scrum*. Unveröffentlichte Masterarbeit. Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Karlsruhe.
- Lutz, S. (2021). *Marktunsicherheit in der Produktentstehung – Eine Systematisches Literaturrecherche*. Unveröffentlichte Bachelorarbeit. Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Karlsruhe.

- Mitschele, A. (2019). *Analyse hinsichtlich der branchenspezifischen Implementierung verschiedener Produktentwicklungsansätze und –methoden*. Unveröffentlichte Bachelorarbeit. Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Karlsruhe.
- Prinz, R. (2020). *Ansatz zur systematischen Bewertung von Zielsystemelementen zur Identifikation von Marktunsicherheiten*. Unveröffentlichte Bachelorarbeit. Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Karlsruhe.
- Schnurr, T. (2020). *Ansätze zur Validierung von Zielsystemelementen in der Mechatroniksystementwicklung durch den Einsatz von Minimum Viable Products am Beispiel der Entwicklung der Hekatron Vertriebs GmbH*. Unveröffentlichte Studienarbeit T2000. Duale Hochschule Baden-Württemberg (DHBW), Lörrach.
- Schuhmacher, L. (2019). *Herausforderungen des konventionellen Zielsystem- und Anforderungsmanagements*. Unveröffentlichte Bachelorarbeit. Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Karlsruhe.

Vorveröffentlichungen, die unter Mitautorenschaft des Autors dieser Arbeit entstanden sind:

- Albers, A., Ebertz, J., Rapp, S., Heimicke, J., Kürten, C., Zimmermann, V., Bause, K. & Blattner, R. (2020). *Produktgeneration 1 im Modell der PGE – Produktgenerationsentwicklung: Verständnis, Zusammenhänge und Auswirkungen in der Produktentwicklung* (KIT Scientific Working Papers, Bd. 149). Karlsruhe: Karlsruher Institut für Technologie (KIT). <https://doi.org/10.5445/IR/1000127971>
- Albers, A., Zimmermann, V., Marthaler, F., Bursac, N., Duehr, K. & Spadinger, M. (2021). Selection of Reference System Elements in the Model of PGE - Product Generation Engineering: Method for the Integration of Customer and User Satisfaction in Product Planning. In Design Society (Hrsg.), *Proceedings of the Design Society: 23rd International Conference on Engineering Design (ICED21). Design in Motion, Gothenburg, Sweden, 16th - 20th August 2021* (Bd. 1, S. 2611–2620). The Design Society. <https://doi.org/10.1017/pds.2021.522>
- Heimicke, J., Niever, M., Zimmermann, V., Klippert, M., Marthaler, F. & Albers, A. (2019). Comparison of Existing Agile Approaches in the Context of Mechatronic System Development: Potentials and Limits in Implementation. In Design Society (Hrsg.), *Proceedings of the Design Society: 22nd International Conference on Engineering Design (ICED19). Responsible Design for Our Future, Delft, The Netherlands, 5th - 8th August 2019* (Bd. 1, S. 2199–2208). Delft, Niederlande: The Design Society. <https://doi.org/10.1017/dsi.2019.226>

- Heimicke, J., Zimmermann, V., Klippert, M., Spadinger, M. & Albers, A. (2019). Vergleich von Produktinnovationsarten – Worin die Unterschiede wirklich begründet liegen. In R. H. Stelzer & J. Krzywinski (Hrsg.), *Entwerfen Entwickeln Erleben in Produktentwicklung und Design 2019. Konferenz Entwerfen Entwickeln Erleben - EEE2019. Dresden, 27. - 28. Juni 2019* (Technisches Design, Bd. 12, S. 165–180). Dresden: TUDpress.
- Zimmermann, V., Heimicke, J., Alink, T., Dufner, Y. & Albers, A. (2019). Agile Development of Mechatronic Systems: Utopia or Reality - an Evaluation from Industrial Practices. In *Proceedings of R&D Management Conference 2019. The Innovation Challenge: Bridging Research, Industry and Society; Paris, France - 17 - 21 June 2019* (o. S.). Paris, Frankreich.
- Zimmermann, V., Heimicke, J., Bohn, R., Schuhmacher, L., Trost, S. & Albers, A. (2020). Herausforderungen des agilen und sequentiellen Zielsystem und Anforderungsmanagements. In B. Corves, K. Gericke, K.-H. Grote, A. Lohrengel, M. Löwer, A. Nagarajah et al. (Hrsg.), *18. Gemeinsames Kolloquium Konstruktionstechnik 2020. Nachhaltige Produktentwicklung* (S. 245–258). Duisburg-Essen: DuEPublico: Duisburg-Essen Publications online.
- Zimmermann, V., Heimicke, J., Schnurr, T., Bursac, N. & Albers, A. (2021). Minimum Viable Products in Mechatronic Systems Engineering: Approach for Early and Continuous Validation. In *Proceedings of R&D Management Conference 2021. Innovation in Era of Disruption; Glasgow, Scotland - July, 6-8, 2021* (o. S.). Glasgow, Schottland.
- Zimmermann, V., Kempf, C., Hartmann, L., Bursac, N. & Albers, A. (2021). Umgang mit Marktunsicherheiten in der Zielsystementwicklung: Methode zur Reduktion von Definitionslücken bei der Konkretisierung des Initialen Zielsystems. In R. H. Stelzer & J. Krzywinski (Hrsg.), *Entwerfen Entwickeln Erleben in Produktentwicklung und Design 2021. Konferenz Entwerfen Entwickeln Erleben - EEE2019. Dresden, 17. - 18. Juni 2021* (S. 21–33). Dresden: TUDpress. <https://doi.org/10.25368/2021.8>
- Zimmermann, V., Kempf, C., Lutz, S., Bursac, N. & Albers, A. (2021). Dealing with Market Uncertainty in Product Development - A Systematic Literature Review. In *Proceedings of R&D Management Conference 2021. Innovation in Era of Disruption; Glasgow, Scotland - July, 6-8, 2021* (o. S.). Glasgow, Schottland.
- Zimmermann, V., Prinz, R. & Albers, A. (2020). Methode zur gezielten Identifikation von Marktunsicherheiten zur Unterstützung der Zielsystementstehung. In D. Krause, K. Paetzold & S. Wartzack (Hrsg.), *Design for X - Beiträge zum 31. DfX-Symposium Oktober 2020. Bamberg, 16-17.09.2020* (S. 209–218). Bamberg: TuTech Verlag TuTech Innovation GmbH. <https://doi.org/10.35199/dfx2020.22>

Glossar

Anforderung	Eine Anforderung ist eine durch einen Wert oder einen Wertebereich festgelegte Beschreibung eines einzelnen Produktmerkmals. Eine Anforderung kann ein Ziel nicht ersetzen, sondern lediglich konkretisierend beschreiben. (vgl. S. 48)
Architekturelle Innovation	Architekturelle Innovationen beruhen auf einer Neukonfiguration von bereits bekannten [...] Funktionseinheiten. Sie stellen Unternehmen oft vor die Herausforderung, ihr Wissen neu zu strukturieren, bergen aber durch eine andersartige Funktionserfüllung auch wirtschaftliche Potenziale bei moderaten technischen Risiken. (vgl. S. 7)
Auswirkung	Die Auswirkung von Zielen beschreibt die Konsequenz einer Zieldefinition oder -änderung hinsichtlich der erforderlichen Umsetzungsaufwände und der resultierenden Kundenzufriedenheit. (vgl. S. 59)
Beeinflussbarkeit	Die Beeinflussbarkeit von Zielen beschreibt die Fähigkeit einzelner Akteure oder Organisationseinheiten, ein bestimmtes Ziel zu definieren bzw. zu ändern. (vgl. S. 59)
Frugale Innovation	Frugale Innovationen werden von Unternehmen primär zu Adressierung von Kunden in Schwellenländer entwickelt, wobei in der Regel ausschließlich Grundbedürfnisse befriedigt werden und auf Begeisterungsmerkmale verzichtet wird, um das Produkt zu einem möglichst geringen Preis anbieten zu können. (vgl. S. 8)
Frühe Phase der Produktgenerationsentwicklung	Die Frühe Phase der Produktgenerationsentwicklung ist eine Phase im Entwicklungsprozess einer neuen Produktgeneration, die mit der Initiierung eines Projektes beginnt und mit einer bewerteten technischen Lösung endet, die das initiale Zielsystem hinsichtlich seiner wesentlichen Elemente abdeckt. Die zur technischen Lösung gehörende Produktspezifikation als Teil des Zielsystems enthält u.a. Informationen bzgl. der verwendeten Technologien und Subsysteme sowie deren Übernahme- und Neuentwicklungsanteile. Sie ermöglicht eine valide Bewertung des zu entwickelnden technischen Systems hinsichtlich der relevanten Parameter wie beispielsweise der Produzierbarkeit,

der notwendigen Ressourcen sowie des technischen und ökonomischen Risikos. (vgl. S. 39)

Handlungssystem

Das Handlungssystem ist ein sozio-technisches System, das aus strukturierten Aktivitäten, Methoden und Prozessen aufgebaut ist. Es enthält weiterhin alle für die Realisierung einer Produktentstehung notwendigen Ressourcen (Entwickler, Budget, Ausstattung etc.). Das Handlungssystem erstellt sowohl das Ziel- als auch das Objektsystem, beide Systeme sind ausschließlich durch das Handlungssystem miteinander verbunden. (vgl. S. 22)

Härtegrad

Der Härtegrad von Zielen beschreibt die definierte Änderbarkeit eines Ziels. (vgl. S. 59)

Inkrementelle Innovation

Inkrementelle Innovationen entstehen durch konstruktive Änderungen an Komponenten und ihren Beziehungen zueinander. Durch den begrenzten Änderungsumfang besteht oft nur ein geringes technisches und ökonomisches Risiko, jedoch ist auch das wirtschaftliche Potenzial vergleichsweise eingeschränkt. (vgl. S. 7)

Initiales Zielsystem

Das initiale Zielsystem liefert zu Beginn des Produktentstehungsprozesses die ersten grundlegenden Ziele sowie die Begründungen für die Entwicklung des richtigen Produktes. (vgl. S. 54)

Innovation

Innovation ist möglich, ohne dass wir irgendetwas als Invention identifizieren sollten, und Invention induziert nicht notwendigerweise Innovation, sondern erzeugt von sich aus überhaupt keinen wirtschaftlichen Effekt. (vgl. S. 5)

Modulare Innovation

Modulare Innovationen sind technisch durch einen Austausch einzelner Funktionseinheiten charakterisiert, wobei die grundsätzliche Systemstruktur erhalten bleibt. Ökonomisch bieten sie erhöhte Potenziale zur Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit, sind jedoch auch mit entsprechend erhöhten Risiken verbunden. (vgl. S. 7)

Objektsystem

Das Objektsystem enthält alle Dokumente und Artefakte, die als Teillösungen während des Entstehungsprozesses anfallen. Es ist vollständig, sobald der geplante Zielzustand erreicht ist. Das eigentliche Produkt ist neben Zwischenprodukten – wie Projektplänen, Zeichnungen, Prototypen usw. – eines der Elemente des Objektsystems. Das Handlungssystem nimmt während des Produktentstehungsprozesses ständig Teile des Objektsystems auf und leitet daraus durch

	<p>Schritte der Analyse und Validierung neue Ziele ab. [...] Endergebnis eines Produktentstehungsprozesses ist neben dem eigentlichen Produkt auch die Summe aller Zwischenergebnisse im Objektsystem, das vollständige Zielsystem und nicht zuletzt das gesammelte Erfahrungswissen im Handlungssystem aus der Durchführung und Reflexion des Prozesses. (vgl. S. 23)</p>
Produktgenerationsentwicklung	<p>Die Produktgenerationsentwicklung beschreibt „die Entwicklung technischer Produkte [...], die sowohl durch die Anpassung von Teilsystemen als Übernahmevariation (ÜV) als auch 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 Gestaltvariation (GV) als auch durch die [...] Aktivität Prinzipvariation (PV) [...] erfolgen. Neue Produktgenerationen basieren immer auf [Referenzen]. (vgl. S. 35)</p>
Produktprofil	<p>Ein Produktprofil ist ein Modell eines Nutzenbündels, das den angestrebten Anbieter-, Kunden- und Anwendernutzen für die Validierung zugänglich macht und den Lösungsraum für die Gestaltung einer Produktgeneration explizit vorgibt.</p> <p>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. S. 9)</p>
Radikale Innovation	<p>Radikale Innovationen zeichnen sich technisch nicht nur durch einen Austausch einzelner Funktionseinheiten aus, sondern auch durch eine neue Konfiguration der Systemstruktur. Entsprechend unsicherheitsbehaftet sind die Entwicklungsprozesse und die Marktpotenziale. Neues Wissen muss in großem Umfang neu generiert oder akquiriert werden. (vgl. S. 7)</p>
Randbedingung	<p>Eine Randbedingung ist eine aus dem Umfeld der Entwicklung resultierende Einschränkung die von anderen verantwortet wird und daher zwar ermittelt, aber nicht eigenständig definiert oder geändert werden kann. (vgl. S. 48)</p>

Reifegrad	Der Reifegrad von Zielen beschreibt die Vollständigkeit, mit der die Wissens- und Definitionslücken eines Ziels geschlossen sind. (vgl. S. 58)
Requirements Management	Das <i>Requirements Management</i> ist ein systematischer Ansatz zur Ermittlung, Organisation und Dokumentation der Anforderungen an das System sowie ein Prozess, der eine Vereinbarung zwischen dem Kunden und dem Projektteam über die sich ändernden Anforderungen an das System herstellt und aufrechterhält. (vgl. S. 49)
Ziel	Ein Ziel ist die bewusste gedankliche Vorwegnahme eines zukünftigen SOLL-Zustands, der gemeinsam vereinbart und durch aktives Handeln angestrebt oder vermieden wird. Ziele begründen die Funktion und die Gestalt von Objekten. (vgl. S. 47)
Zielsystem	Das Zielsystem umfasst die mentale Vorstellung der geplanten Eigenschaften eines Produkts und alle dafür notwendigen Restriktionen, deren Abhängigkeiten und Randbedingungen. Die Ziele beschreiben dabei den gewünschten zukünftigen Zustand des Produkts (und seiner Komponenten) und dessen Kontext, nicht jedoch die Lösung als solche. Das Zielsystem wird im Verlauf des Produktentstehungsprozesses fortwährend erweitert und konkretisiert. (vgl. S. 40)

Anhang A

Aktivitäten der Produktentstehungen

Tabelle A.1: Übersicht und Beschreibung der Aktivitäten der Produktentstehung

Basisaktivitäten:	
Ergänzen und unterstützen Kernaktivitäten, um Produktentstehungsprozess kontinuierlich zu verbessern (Reiß, 2018).	
Projekte managen	Beschreibt eine fortlaufende Aktivität mit dem Fokus eines kontinuierlichen SOLL-/IST-Vergleich zwischen Ziel- und Objektsystem. Umfasst insbesondere die Planung des initialen Ziel- und Handlungssystems sowie dessen Controlling und Weiterentwicklung entlang des Produktentstehungsprozesses (Albers & Braun, 2011a).
Validieren und Verifizieren	Entsprechend ALBERS bildet die Validierung die zentrale Aktivität der Produktentstehung zur Generierung von Erkenntnissen und Wissen (Albers, 2010). Sie beinhaltet den kontinuierlichen Abgleich von Ziel- mit Objektsystem mit dem Ziel der Eigenschaftsabsicherung (Albers & Braun, 2011a).
Wissen managen	Dient sowohl dazu weiteres notwendiges Wissen zu identifizieren, erwerben und weiterzuentwickeln als auch um sich einen Überblick über bestehendes zu verschaffen und zu verwenden, oder zu verteilen (Albers, Reiß, Bursac & Richter, 2016).
Änderungen managen	Beinhaltet sowohl die Analysen, um frühzeitig potentielle Fehler zu erkennen als auch die Durchführung von Maßnahmen zur Behebung. Dabei können technische, wirtschaftliche und soziale Änderungen Bestandteil sein (Albers, Reiß, Bursac & Richter, 2016).
Kernaktivitäten:	
Erhöhen direkt den Reifegrad einer Produktgeneration (Reiß, 2018)	
Profile finden	Das Produktprofil beschreibt die Bedarfssituation am Markt und beinhaltet das Nutzenbündel bestehend aus Anbieter-, Anwender- und Kundennutzen (Albers, Heimicke, Walter et al., 2018). Weiter gilt es eine lösungsneutrale Beschreibung der Eigenschaften des zu entwickelnden Produkts vorzunehmen (Albers & Braun, 2011a).
Ideen finden	Generieren von technischen Lösungen, um die im Produktprofil beschriebene Bedarfssituation technisch zu lösen. Dabei gilt es die Ideen gestaltungsneutral zu beschreiben (Albers & Braun, 2011a).
Prinzip und Gestalt modellieren	Die gefundenen Ideen werden hinsichtlich des Zusammenhangs von Funktion und Gestalt detailliert ausgearbeitet. Dabei gilt es die technischen und wirtschaftlichen Randbedingungen zu berücksichtigen (Albers & Braun, 2011a).
Prototyp aufbauen	Beinhaltet sowohl den Aufbau physischer als auch digitaler Prototypen und bildet die Grundlage der Aktivität <i>Validieren und Verifizieren</i> (Albers, Reiß, Bursac & Richter, 2016).

Produzieren	Stellt die Aktivität zur Herstellung des Produkts entsprechend der modellierten Gestalt dar. Von Bedeutung ist es, diese Aktivität bereits frühzeitig in der Entwicklung vorzudenken (Albers & Braun, 2011a).
Markteinführung analysieren	Zielsetzung ist, wie bei der Aktivität <i>Produzieren</i> , die Vermarktung des zu entwickelnden Produkts vorzudenken. Dazu zählt u. a. die Betrachtung der notwendigen Logistik (Albers & Braun, 2011a).
Nutzung analysieren	Bildet eine Informationsquelle für die frühen Phasen des Entwicklungsprozesses, wobei die Nutzung des Produkts vorausgedacht wird, um Ziele an das Produkt abzuleiten. Weiter wird in der Aktivität das Produkt bei Kunden analysiert (Albers & Braun, 2011a).
Abbau analysieren	Umfasst die Analyse und das Vorausdenken von Möglichkeiten am Produktlebensende, wie bspw. die Stilllegung oder das Recycling (Albers & Braun, 2011a).

Grundprinzipien des Agile Systems Design Ansatzes

Tabelle A.2: Grundprinzipien des ASD-Ansatzes (Albers, Heimicke, Spadinger, Reiß, Breitschuh, Richter, Bursac & Marthaler, 2019a, S. 8–10)

<p>1. Der Mensch steht im Zentrum der Produktentstehung</p> <p>„Durch sein kreatives Schaffen ist der Entwickler für die Entwicklung erfolgreicher Produkte verantwortlich. Für eine bestmögliche Unterstützung des Entwicklers [...] müssen Prozesse und Methoden an seine Kreativität, Kompetenzen, Bedarfe und kognitiven Fähigkeiten angepasst werden. [...] Im Prozess der Produktentstehung wechselwirkt der Entwickler unmittelbar mit seinem Kontext und trägt zu einem kontinuierlichen und zielgerichteten Wissensgewinn bei, der es wiederum erlaubt, relevante Ziele an ein Produkt zu identifizieren und auf Basis dessen für die Zielerfüllung geeignete Objekte zu synthetisieren.“</p>
<p>2. Jeder Produktentstehungsprozess ist einzigartig und individuell</p> <p>„In der Praxis existieren keine zwei exakt gleichen Produktentwicklungsprojekte, da jedes Projekt innerhalb eines projektcharakteristischen Kontexts durchgeführt wird. [...] Da diese jedoch in unterschiedlichen Projekten auf Basis spezifischer und voneinander abweichender Zielsysteme vollzogen werden, müssen Prozesse und Methoden an die jeweilige Situation angepasst werden.“</p>
<p>3. Agile, situations- und bedarfsgerechte Kombination strukturierender und flexibler Elemente</p> <p>„Durch ein situations- und bedarfsgerechtes Kombinieren strukturierender und flexibler Prozesselemente kann es Entwicklerteams gelingen, reaktionsfähig gegenüber Änderungen zu sein und zugleich fokussiert auf definierte Entwicklungsziele hin zu arbeiten.“</p>

4. Jedes Prozesselement lässt sich im ZHO-Modell verorten und jede Aktivität basiert auf den Grundoperatoren Analyse und Synthese

„Die Produktentstehung lässt sich als ein wiederkehrender Iterationszyklus aus Analyse- und Synthesetätigkeiten modellieren. [...] Das klare Bewusstsein über eine treffliche Zuordnung verschiedener Elemente zum Systemtripel unterstützt Entwicklerteams beispielsweise bei der Identifikation des aktuell benötigten Wissens oder dem zielgerichteten Aufbau von Prototypen zu einem bestimmten Projektzeitpunkt.“

5. Alle Aktivitäten der Produktentwicklung sind als Problemlösungsprozess zu verstehen

„Der Auslöser für die Durchführung jeder Aktivität der Produktentstehung ist die Abweichung eines IST- von einem SOLL-Zustand. [...] Aus diesem Grund ist jede Aktivität der Produktentstehung als Problemlösungsprozess modellierbar, um diese systematische Überführung des IST- in den SOLL-Zustand zu unterstützen.“

6. Jedes Produkt wird auf Basis von Referenzen entwickelt

„Der Neuentwicklungsanteil neuer Produktgenerationen muss zu Beginn eines Entwicklungsprojektes je nach avisierte Produktstrategie festgelegt werden, wobei die Nutzung der richtigen Referenzsystemelemente entscheidenden Einfluss auf Wettbewerbsvorteile hat.“

7. Produktprofile, Invention und Markteinführung bilden die notwendigen Bestandteile des Innovationsprozesses

„Die Grundlage für die Entwicklung eines erfolgreichen Produkts ist die Identifikation der richtigen Bedarfssituation am zukünftigen Markt. Aus dieser leitet sich der potentielle Kunden-, Anwender- und Anbieternutzen ab und wird mittels des Produktprofils der Entwicklung zugänglich gemacht.“

8. Frühe und kontinuierliche Validierung dient dem Abgleich zwischen Problem und dessen Lösung

„Die Validierung gilt als zentrale Aktivität im Produktentwicklungsprozess und ist [...] als fortlaufende Aktivität während der Produktentwicklung zu verstehen. Nur so kann sichergestellt werden, dass der Kunden-, Anwender- und Anbieternutzen mit dem entwickelten Produkt erzielt wird. Durch die Validierung [...] werden Erweiterungen am Zielsystem vorgenommen, die je nach Validierungsergebnis als Bestätigung, Festlegung, Verfeinerung und/oder Änderung ausgeprägt sind. [Es] ist [...] notwendig, bereits früh im Prozess generierte Objekte hinsichtlich der Erfüllung des Kunden-, Anwender- und Anbieternutzens zu validieren, um die weitere Entwicklungsrichtung abzusichern und unerwünschte sowie unvorhergesehene Effekte zu vermeiden.“

9. Für eine situations- und bedarfsgerechte Unterstützung in jedem Entwicklungsvorhaben müssen Denkweisen, Methoden und Prozesse skalierbar sein

„Um Entwicklerteams in unterschiedlichen Entwicklungsvorhaben [...] bestmöglich zu unterstützen, müssen Entwicklungsprozesse hinsichtlich des jeweils vorliegenden Entwicklungskontexts und des angestrebten Entwicklungsziels skaliert werden, um Entwicklern in den verschiedenen Entwicklungssituationen ein situationsadäquates Agieren zu ermöglichen.“

Übersicht Quellen der systematischen Literaturanalyse

Tabelle A.3: Übersicht der in der systematischen Literaturanalyse verwendeten Quellen

1	Tsai & Huang, 2008)
2	Carbonell & Rodriguez, 2006)
3	Healy, O'Dwyer & Ledwith, 2018)
4	Land, Engelen & Brettel, 2012)
5	(Herstatt, Stockstrom, Verworn & Nagahira, 2006)
6	Dao & Zmud, 2013)
7	Hong, Jagani, Kim & Youn, 2019)
8	Dao, 2012)
9	Verworn, 2009)
10	Moon & McAdams, 2010)
11	Georgiopoulos, Jonsson & Papalambros, 2005)
12	Hawer, Schönmann & Reinhart, 2017)
13	Souza, Bayus & Wagner, 2004)
14	Cao et al., 2008)
15	Souder, Sherman & Davies-Cooper, 1998)
16	Poskela, 2008)
17	Schoenherr & Wagner, 2016)
18	Schuh, Prote, Dany, Molitor & Pagano, 2017)
19	Goodwin, Meeran & Dyussekeneva, 2014)
20	Esber & Baier, 2010)
21	Proff & Fojcik, 2016)
22	Shi & Shen, 2019)
23	Ettlie, 1997)
24	Tokunaga & Fujimura, 2015)
25	Benson, Sage & Cook, 1993)
26	Haberfellner & Weck, 2005)
27	Sicotte & Bourgault, 2008)
28	Webb, 2016)
29	Macdonald & Jinliang, 1994)
30	Xie, Zhou, Zong & Lu, 2020)
31	Ju, Jin & Zhou, 2018)
32	Sheng, Zhou & Lessassy, 2013)
33	Oriani & Sobrero, 2008)
34	Chen, Reilly & Lynn, 2005)
35	Jonnalagedda & Saranga, 2017)
36	Lakemond, Magnusson, Johansson & Säfsten, 2013)
37	Johnson, Piccolotto & Filippini, 2009)
38	Petrovicic, Obal, Walton & Fearn, 2020)
39	Wei & Zhang, 2020)
40	Bhattacharya, Krishnan & Mahajan, 1998)
41	Giones & Miralles, 2014)
42	Creane, 2002)

43	Asan, Polat & Sanchez, 2008)
44	Hochdörffer, Maul & Lanza, 2015)
45	Tansurat & Gerd Sri, 2019)
46	Sanchez, 2008)
47	Suh, Weck & Chang, 2007)
48	Jeang & Liang, 2012)
49	Yang, Shan, Jiang, Yang & Yao, 2018)
50	Chou, 2006)
51	Wang & Xie, 2011)
52	Incekara, 2018)
53	Ritala, 2011)
54	Varis, Virolainen & Puumalainen, 2004)
55	Ryoo, 2017)
56	Sandulli, Fernandez-Menendez, Rodriguez-Duarte & Lopez-Sanchez, 2012)
57	Bernal, Maicas & Vargas, 2019)
58	Fortuin & Orta, 2007)
59	Li, Menon & Liu, 2019)
60	Koufteros, Vonderembse & Doll, 2002)
61	MacMillan & McGrath, 2002)
62	Menzefricke, Frank, Drewel & Dumitrescu, 2020)

Steckbriefe empirischer Methoden

Fragebogen		
<p>Anwendungsfeld</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Empirische Forschung, Analyse realer Entwicklungsprozesse ▪ Experimentelle Studien, Evaluation in kontrollierter Umgebung ▪ Anwendungsstudien, Einsatz von Entwicklungsunterstützung in realen Entwicklungsprozesse ▪ Sämtliche Felder der Entwicklungsmethodik, in der die Wahrnehmung durch Menschen von Interesse ist 		
<p>Vorteile</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Direkte Datenerfassung bzgl. der Meinung von Probanden ▪ Einfacher Zugang zu großen Stichproben ▪ Große Anzahl bestehender Online-Umfrage Tools 	<p>Nachteile</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Kein Eingriff des Forschers möglich ▪ Es müssen präzise Fragen formuliert werden ▪ Missverständnisse durch Probanden können gesamte Studie gefährden 	

Abbildung A.1: Steckbrief der empirischen Methode Fragebogen (Marxen, 2014) Darstellung in Anlehnung an (Bursac, 2016)

Interview	
<p>Anwendungsfeld</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Empirische Forschung, Analyse realer Entwicklungsprozesse ▪ Experimentelle Studien, Evaluation in kontrollierter Umgebung ▪ Anwendungsstudien, Einsatz von Entwicklungsunterstützung in realen Entwicklungsprozesse ▪ Sämtliche Felder der Entwicklungsmethodik, in der die Wahrnehmung durch Menschen von Interesse ist 	
<p>Vorteile</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Direkte Datenerfassung bzgl. der Meinung und Gedanken von Probanden ▪ Eingreifen des Forscher je nach Ausprägung des Interviews möglich 	<p>Nachteile</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Viele potentielle Störungsquellen ▪ Viel Aufwand



Abbildung A.2: Steckbrief der empirischen Methode Interview (Marxen, 2014) Darstellung in Anlehnung an (Bursac, 2016)

Retrospektives Protokoll	
<p>Anwendungsfeld</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Empirische Forschung, Analyse realer Entwicklungsprozesse ▪ Menschzentrierte Forschung der Entwicklungsmethodik ▪ Wenn Zusammenfassung gegenüber Details bevorzugt wird 	
<p>Vorteile</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Entwicklungsaktivitäten bleiben durch Beobachter unberührt ▪ Zugänglichkeit realer Prozesse der industriellen Praxis ▪ Daten sind bereits beim Sammeln zusammengefasst 	<p>Nachteile</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Geringer Detaillierungsgrad, eher Zusammenfassung ▪ Ungenaue Daten durch indirekte Datenerhebung über Probanden



Abbildung A.3: Steckbrief der empirischen Methode Retrospektives Protokoll (Marxen, 2014) Darstellung in Anlehnung an (Bursac, 2016)

Teilnehmende Beobachtung	
<p>Anwendungsfeld</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Empirische Forschung, Analyse realer Entwicklungsprozesse ▪ Menschzentrierte (Langzeit)projekte mit Fokus Erkenntnisse hinsichtlich Designaktivitäten und –prozessen zu generieren, wobei der Forscher selbst die Datenquelle sein kann ▪ Promotionsprojekte, bei denen der Forscher in einem Unternehmen angestellt ist 	
	
<p>Vorteile</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Direkte Datenerfassung und somit keine „Übertragungsfehler“ von Datenquelle zu Forscher ▪ Selbstbeobachtung kann zu Verbesserung des Selbstlernens führen, was Forscher zu besserem Entwickler machen kann 	<p>Nachteile</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Selbstbeobachtung kann von eigentlichen Aktivitäten ablenken ▪ Rationalisierung der Ergebnisse, wenn Datenerfassung zeitlich versetzt ▪ Verfälschung der Ergebnisse durch modifiziertes Verhalten

Abbildung A.4: Steckbrief der empirischen Methode Teilnehmende Beobachtung (Marxen, 2014) Darstellung in Anlehnung an (Bursac, 2016)

Fallstudie	
<p>Anwendungsfeld</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Explorative Forschung um Forschungsfragen zu identifizieren ▪ Empirische Forschung zur Analyse realer Entwicklungsprozesse ▪ Anwendungsstudien, Einsatz von Entwicklungsunterstützung in realen Entwicklungsprozesse ▪ Falsifizierung von Theorien ▪ Aufzeigen der Nutzbarkeit/ des Wertes einer Methode oder Tool 	
	
<p>Vorteile</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Ganzheitlicher Ansatz ▪ Funktioniert auch in sehr komplexen Situationen 	<p>Nachteile</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Wissenschaftliche Akzeptanz ▪ Aufwand durch die notwendige Anwendung von verschiedenen empirischen Forschungsmethoden

Abbildung A.5: Steckbrief der empirischen Methode Fallstudie Beobachtung (Marxen, 2014) Darstellung in Anlehnung an (Bursac, 2016)

Live-Lab Studie	
<p>Anwendungsfeld</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Erforschung von Methoden und Prozessen in einer realitätsnahen und gleichzeitig kontrollierbaren Untersuchungsumgebung ▪ Empirische Forschung, Analyse realer Entwicklungsprozesse ▪ Untersuchung komplexer Situationen ▪ Evaluation bestehender oder entwickelter Methoden, Prozesse oder Tools <div style="text-align: right;"> </div>	
<p>Vorteile</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Realitätsnahes Verhalten der Probanden ▪ Kontrollierbare Untersuchungsumgebung ▪ Möglichkeit für Untersuchungen mit Test- und Kontrollgruppe 	<p>Nachteile</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Viele potentielle Störungsquellen ▪ Viel Aufwand

Abbildung A.6: Steckbrief der empirischen Methode Live-Lab verbessern (Reiß, 2018, S.104).

Herausforderungen des sequenziellen Zielsystemmanagements

Tabelle A.4: Herausforderungen des sequenziellen Zielsystemmanagements

Herausforderung	Erläuterung	Praxis
Identifikation der aus Kunden- und Anwendersicht relevanten Ziele und Anforderungen	Kunden und Anwender sind sich häufig selbst nicht ihrer Ziele und Anforderungen bewusst, zudem ändern sich die Ziele und Anforderungen von Kunden und Anwendern mit der Zeit. (Karlsson et al., 2002; Konrad & Gall, 2008; Penzenstadler & Eckhardt, 2012; Sutcliffe, 1996)	C
Identifikation potentieller Kunden, auf welche die Entwicklung abgestimmt werden kann.	Gerade in Lead-User Entwicklungen bestehen Herausforderungen bei der Identifikation und Auswahl von Kunden, die Lead-User entsprechen. Weiter stellt es eine Schwierigkeit dar, potentielle Kunden überhaupt zu identifizieren.	B, E

Antizipation des Nutzerverhaltens bei neuartigen Produkten	Häufig ist das Verständnis hinsichtlich des Nutzerverhaltens, insbesondere bei Produktgenerationen mit wenig Erfahrungen aus dem Markt, eher gering, sodass es antizipiert werden muss.	D
Recherchieren und Interpretieren relevanter Normen	Die Recherche und Interpretation der relevanten Normen kann einen großen zeitlichen Aufwand mit sich bringen. Zudem ist teilweise nicht eindeutig, welche Normen gelten und wie diese ausgelegt werden müssen.	B, F
Begegnung des Trade-offs zwischen Stichprobengröße der befragten Kunden und Risiko der Fehlinterpretation	Die Stichprobe der zu befragenden Kunden kann zwar beliebig groß gewählt werden und damit kann auch das Risiko von Fehlinterpretationen oder Einzelmeinungen reduziert werden, was jedoch mit ansteigendem Aufwand und damit Kosten verbunden.	B, E
Schaffung eines Kompromiss, in dem sich jeder Stakeholder ausreichend repräsentiert fühlt	Verschiedene Kunden und Anwender verfolgen individuelle Sichtweisen, welche möglichst alle berücksichtigt werden sollen. (Morris, Masera & Wiliikens, 1998)	B, E
Entwicklung einer Produktvision zu einem frühen Zeitpunkt in der Entwicklung	Zu einem frühen Zeitpunkt in der Produktentwicklung ist es herausfordernd eine Produktvision zu formulieren, an welcher sämtliche Aktivitäten der Produktentwicklung ausgerichtet werden können.	A, E
Verfassen qualitativ hochwertiger Anforderungen	Ziele von Kunden und Anwendern sind häufig unpräzise, sodass das Formulieren von qualitativ hochwertigen und vollständigen Zielen und Anforderungen eine Herausforderung ist. Missverständliche Zielsystemelemente können in einer fortführenden Fehlerkette resultieren. (Ebert, 2014; Karlsson et al., 2002; Morris et al., 1998; Tseng & Jiao, 1997)	A, B, C, D, E, F, G
Bewertung unvollständiger Lastenhefte	Die Erstellung des Pflichtenheftes und damit der Vertrag, was in der Entwicklung geliefert werden soll, ist eine Herausforderung, da diese auf Basis von Lastenheften durchgeführt wird, deren Qualität häufig unzureichend ist. Dies stellt insbesondere Dienstleister vor Herausforderungen.	B, F
Gewährleistung eines angemessenen Maßes an Vollständigkeit	Vollständigkeit an Zielen und Anforderungen kann nicht erreicht werden, sondern vielmehr nimmt das Zielsystem im Laufe der Entwicklung kontinuierlich zu. So ist es für die Entwicklungsteams herausfordernd das Zielsystem kontinuierlich zu erweitern und keine wesentlichen Punkte zu vergessen. Nicht explizierte Ziele und Anforderungen bergen die Gefahr vergessen und somit auch nicht getestet zu werden. Weiter ist es eine Herausforderung abzuschätzen, ob aus Kundensicht ausreichend Ziele erfasst sind.	A, B, C, D, E, G

Begegnung des Trade-offs zwischen Vollständigkeit und Aufwand	Es ist herausfordernd zu entscheiden wie viel Information relevant ist. Es gilt es sämtliche relevanten Zielsystemelemente in ausreichender Detaillierung zu beschreiben.	A, E
Zu geringe Aufmerksamkeit, welche der Validierung beigegeben wird	Eigentlich sollte die Validierung die zentrale Aktivität des Zielsystemmanagements darstellen, allerdings ist die in der Praxis zugemessene Aufmerksamkeit zu gering. Produktentwicklung findet häufig statt, ohne dass das zu entwickelnde Produkt mit Kunden und Anwender abgeglichen wird. (Bubenko, 1995; Karlsson et al., 2002; Sutcliffe, 1996)	A, C, E
Differenzierung zwischen Validierung und Verifizierung	Meist wird sich auf die Verifikation beschränkt, und die Validierung der Ziele und Anforderungen gegenüber den Kunden und Anwendern nicht abgebildet. Eine Ursache besteht darin, dass die Abgrenzung nicht bekannt ist.	A, F
Umfassende Validierung trotz hohen Zeit- und Kostendrucks	Es ist herausfordernd entsprechend des Zeitdrucks der in der Produktentwicklung vorherrscht umfassend zu validieren, also sämtliche Perspektiven, Personen und Annahmen etc. zu berücksichtigen. (Zave, 1997)	D, E
Bewertung konträrer Rückmeldungen	Nicht erst durch die Globalisierung steigt die Diversität der Märkte an und es gilt somit unterschiedliche Kunden und Anwender in der Validierung zu berücksichtigen, die wiederum unterschiedliche Ansichten vertreten.	E
Konsistente Risikobewertung und Aufwandabschätzung einzelner Arbeitspakete	Auf Basis von Erfahrungen gilt es kritische Anforderungen und Ziele zu identifizieren, die es zu validieren gilt. Dies stellt eine Herausforderung dar.	B, D
Bewertung der Sinnhaftigkeit und Notwendigkeit definierter Ziele und Anforderungen	Für den Erfolg der Produktentwicklung ist es notwendig, dass die Entwickler ein Verständnis für die Bedürfnisse von Kunden und Anwendern haben. Viele Ziele oder Anforderungen sind jedoch nicht notwendig, unrealistisch formuliert, oder fordern unbegründete Zahlenwerte. Daher ist es essenziell, jede Anforderung zu hinterfragen.	A, B, C, D, E, G
Unzureichender Reifegrad von Zielen und Anforderungen	Es ist herausfordernd Ziele und Anforderungen derart zu konkretisieren, dass eindeutig definiert ist, welche Erwartung sich hinter den Zielsystemelementen verbirgt. Weiter fehlen häufig notwendige Begründungen oder Details, sodass die Entwickler auf Basis unvollständiger Informationen entwickeln müssen. Eine Ursache besteht darin, dass der Kunde selbst nicht weiß, welche Eigenschaften das angestrebte Produkt erfüllen soll.	B, D, E, F
Ziele und Anforderungen nachverfolgbar und wiederverwendbar gestalten	Es ist herausfordernd Ziele und Anforderungen derart zu verwalten, dass sie über die gesamte Produktentwicklung nachverfolgbar sind und in künftigen Produktgenerationen wiederverwendet werden können. (Bubenko, 1995; Penzenstadler & Eckhardt, 2012; Weber & Weisbrod, 2003; Zave, 1997)	E, G

Abschätzen der Tragweite einer Änderung	Insbesondere bei interdisziplinären Entwicklungsprojekten stellt das Abschätzen einer Änderung eine Herausforderung dar (Peterson, Paasch, Ge & Dietterich, 2007).	B, C, E, F
Priorisierung der Ziele und Anforderungen	Zielsystemelemente können auf Basis unterschiedlicher Kriterien hinsichtlich der Realisierung priorisiert werden. (Carlshamre, 2001; Lehtola, Kauppinen & Kujala, 2004; Zave, 1997)	B, D
Heterogenität der verwendeten Tools	Es ist herausfordernd aus den heterogenen Tools der verschiedenen Disziplinen einen konsistenten Informationsgehalt zu gewährleisten. (Bhat, Gupta & Murthy, 2006; Hood et al., 2008; Weber & Weisbrod, 2003)	C
Demotivation der Entwickler durch komplexe Tools	Tools zum Verwalten von Zielen und Anforderungen sind meist komplex in der Bedienung und führen somit teilweise zu einer Demotivation der Mitarbeiter.	E, G
Kommunikation im Team (Interdisziplinäre Zusammenarbeit) und mit Kunden	Die Interpretation von dokumentierten Zielen und Anforderungen durch unterschiedlich Disziplinen kann zu Missverständnissen führen. Die Kommunikation mit Kunden nimmt viel Zeit in Anspruch. Außerdem sprechen Kunden und Entwickler häufig „unterschiedliche Sprachen“. (Penzstadler & Eckhardt, 2012; Tseng & Jiao, 1997; Zave, 1997)	A, B, C, E, F
Fehlendes Know-How im Zielsystemmanagement	Das Know-How hinsichtlich des Zielsystem- oder Anforderungsmanagements ist teilweise zu gering ausgeprägt (Bubenko, 1995; Morris et al., 1998). Weiter bestehen Differenzen hinsichtlich der Affinität unterschiedlicher Disziplinen hinsichtlich dessen (Berkovich, Leimeister & Krömer, 2011).	A, B, E
Mangelndes Verständnis für die Notwendigkeit eines Zielsystem- und Anforderungsmanagements	Vorteile des systematischen Managements von Zielen und Anforderungen sind den am Entwicklungsprozess Beteiligten, aber auch insbesondere dem Top-Management nur bedingt bekannt. (Kauppinen, Vartiainen, Kontio, Kujala & Sulonen, 2004; Miranda, 2004; Morris et al., 1998)	A, B, C, E, G
Begegnung des hohen Kostendrucks in der Produktentwicklung	Implementierung eines systematischen Ansatzes bedeutet hohe Kosten, was aus Sicht des Managements ein Hindernis darstellt. (Morris et al., 1998)	A, B, C, D, E, F, G

Herausforderungen des agilen Zielsystemmanagements

Tabelle A.5: Herausforderungen des agilen Zielsystemmanagements

Herausforderung	Erläuterung	Praxis
Auswahl der richtigen Kunden und Anwenderrepräsentanten	Im Zuge der agilen Produktentwicklung werden externe Stakeholder, wie Kunden und Anwender, in den Entwicklungsprozess integriert. Dabei gilt es sowohl die richtigen Repräsentanten, als auch die optimale Anzahl dieser auszuwählen. (Alsaqaf, Daneva & Wieringa, 2017; Grande, 2014; Gregory, Barroca, Taylor, Salah & Sharp, 2015; Schön, Winter, Escalona & Thomaschewski, 2017; Vithana, 2015)	H, I, K, L, M1, M2
Definition von Zielen und Anforderungen in Kooperation mit Anwendern und Kunden	Für eine nutzerzentrierte Produktentwicklung gilt es gemeinsam mit externen Stakeholdern Ziele und Anforderungen zu formulieren. Herausforderungen bestehen insbesondere hinsichtlich Kommunikationsbarrieren zwischen Entwicklern und Kunden oder Anwender. (Schön et al., 2017)	
Eindeutige Formulierung von Zielen und Anforderungen (Kommunikation im Team und mit Kunden)	Die Formulierung von Zielen und Anforderungen muss derartig eindeutig sein, dass keine Missverständnisse zwischen den Projektbeteiligten auftreten. Eine Herausforderung besteht insbesondere in der Kommunikation von Zielen und Anforderungen aus Kunden- und Anwendersicht. (Inayat, Salim, Marczak, Daneva & Shamshirband, 2015; Schön et al., 2017)	H, J, K
Gewährleistung eines einheitlichen Verständnisses der Anforderungen	Ziele und Anforderungen müssen entlang des gesamten Entwicklungsprojektes auch nach Änderungen von allen relevanten Stakeholdern verstanden werden. (Albers et al., 2012; Dikert, Paasivaara & Lassenius, 2016; Gregory et al., 2015; Kamaruddin, Arshad & Mohamed, 2012)	
Schaffung eines Kompromisses, in dem sich jeder Stakeholder ausreichend repräsentiert fühlt	Insbesondere im Rahmen der Validierung mit verschiedenen Kunden- und Anwendergruppen, kann es zu Meinungsverschiedenheiten hinsichtlich der Eigenschaften und Funktionalitäten kommen. Dies gilt es aufzulösen. (Vithana, 2015)	H, K, M1, M2
Gewährleistung einer minimalen, aber ausreichenden Dokumentation	Entsprechend des agilen Manifests soll so wenig wie möglich dokumentiert werden. Dabei ist es herausfordernd das richtige Maß zu finden, sodass keine notwendigen Informationen verloren gehen. (Alsaqaf et al., 2017; Grande, 2014; Inayat et al., 2015; Levy & Hazzan, 2009; Ramesh, Cao & Baskerville, 2010; Schön et al., 2017; Vithana, 2015)	
Ziele und Anforderungen nachverfolgbar und	Durch die geringe Dokumentation besteht eine Herausforderung die Anforderungen und Ziele nachverfolgen zu	

wiederverwendbar gestalten	können. Dies ist insbesondere in Bezug auf nachfolgende Produktgenerationen von Relevanz. (Ramesh et al., 2010)	
Priorisierung der Ziele und Anforderungen	Die Priorisierung stellt eine kontinuierliche durchzuführende Tätigkeit dar und bildet die Grundlage von Iterationen. Häufig ist aber nicht klar, wonach priorisiert werden soll. (Dikert et al., 2016; Gregory et al., 2015; Ovesen & Dowlen, 2012; Ramesh et al., 2010; Schmidt, Chahin, Kößler & Paetzold, 2017; Schön et al., 2017; Zave, 1997)	J, M1, M2
Betrachten des Systems als Ganzes	Während der Produktentwicklung gilt es das System als Ganzes zu betrachten und die Wechselwirkungen mit den anderen Teilsystemen zu berücksichtigen. (Dikert et al., 2016)	
Optionen möglichst lange offen halten	Es gilt sich möglichst viele Optionen möglichst lange offen zu halten, allerdings bestehen Herausforderungen vorherzusagen, welche Optionen offengehalten werden können und welche nicht, da sich aus der Definition Auswirkungen auf das Restsystem ergeben könne. (Ovesen & Dowlen, 2012; Schmidt et al., 2017)	H, K, L
Modularisierung des Produkts durch Unterteilung in sinnvolle Aktivitäten	Einzelne Ziele und Anforderungen gilt es sinnvoll zu unterteilen, da diese nicht im Rahmen einer Iteration bewerkstelligt werden können. (Dikert et al., 2016; Gregory et al., 2015; Ovesen & Dowlen, 2012; Schmidt et al., 2017)	I
Zusammenarbeit der einzelnen Teams durch funktionierende Schnittstellen	Bei der Zusammenarbeit von unterschiedlichen Teams ist es essenziell, dass die Schnittstellen der verschiedenen Teilprodukte aufeinander abgestimmt sind und funktionieren. Bei Änderungen während des Produktentwicklungsprozesses müssen diese erfolgreich an alle relevanten Stakeholder kommuniziert werden. (Dikert et al., 2016)	H, J, K, M1, M2
Berücksichtigung von Abhängigkeiten einzelner Ziele und Anforderungen zueinander	Die Abhängigkeiten einzelner Ziele und Anforderungen zueinander müssen berücksichtigt werden. Insbesondere bei den im agilen explizit vorgesehenen Änderungen, müssen diese beachtet werden. (Ramesh et al., 2010; Schön et al., 2017; Vithana, 2015)	I, J, K, L, M1, M2
Berücksichtigung externer Abhängigkeiten	Es gilt externe Abhängigkeiten wie bspw. zu Lieferanten, Entwicklungspartnern, Kunden und Anwender, aber auch zu anderen bereits im Markt verfügbaren Systemen zu berücksichtigen. (Ovesen & Dowlen, 2012; Schmidt & Paetzold, 2016; Schmidt et al., 2017)	H, I
Verfügbarkeit von Kunden und Anwendern für die Validierung	Die Verfügbarkeit externer Stakeholder ist entscheidend für den Erfolg von Reviews und bildet die Grundlage der Validierung. (Inayat et al., 2015; Kamaruddin et al., 2012; Ramesh et al., 2010; Schmidt et al., 2017; Schön et al., 2017; Vithana, 2015)	H, I, L, M1, M2
Geheimhaltung	Durch die direkte Zusammenarbeit mit Kunden und Anwendern gilt es Geheimhaltungsvereinbarungen mit externen Stakeholdern zu finden.	H, I
Erstellen eines validierbaren	In jedem Sprint gilt es ein validierbares Inkrement zu erstellen. Insbesondere zu Beginn der Entwicklung ist dies	H, L, M1, M2

Teilproduktes innerhalb einer Iteration	mit Schwierigkeiten verbunden. (Schmidt & Paetzold, 2016; Schmidt et al., 2017)	
Herstellung von Prototypen	Die Fertigung eines physischen Produkts nimmt oftmals mehr Zeit in Anspruch als in einem Sprint zur Verfügung steht. (Schmidt et al., 2017)	H, I, K
Generierung eines Kundennutzens am Projektanfang	Insbesondere zu Beginn eines Entwicklungsprojekts ist es schwierig einen Nutzen zu entwickeln, der im Rahmen eines Reviews durch Kunden und Anwender erlebt werden kann. (Dikert et al., 2016; Gregory et al., 2015)	
Überprüfen von Zielen und Anforderungen, die anfangs nur unscharf formuliert wurden	Da zu Beginn der Entwicklung Ziele und Anforderungen oftmals nur unscharf formuliert werden, ist es eine Herausforderung Validierungsziele aus diesen abzuleiten. (Gregory et al., 2015)	
Berücksichtigung nicht-funktionaler Anforderungen	Es müssen auch Ziele und Anforderungen berücksichtigt werden, die nicht direkt durch Kunden oder Anwender erlebt werden können, aber dennoch von Bedeutung sind. Diese dürfen bei der Sprintplanung nicht vergessen werden, auch wenn sie nicht direkt auf den Kunden- und Anwendernutzen einwirken. (Alsaqaf et al., 2017; Ramesh et al., 2010; Schön et al., 2017; Vithana, 2015)	K
Abschätzung der Tragweite einer Änderung	Da insbesondere da zu Beginn der Entwicklung nicht sämtliche Anforderungen und Ziele definiert werden, ist die Auswirkungsvorhersage von Änderungen herausfordernd. (Schön et al., 2017)	
Integration ermittelter Änderungsbedarfe/ Management des Backlogs: Nacharbeitsschritte in Backlog aufnehmen	Damit die Änderungen umgesetzt werden können, müssen diese im Backlog aufgenommen werden. Zusätzlich entstehen Aufwände die es zu berücksichtigen gilt. (Gregory et al., 2015; Schön et al., 2017)	
Neubewertung von Zielen und Anforderungen	Während der Entwicklung durchgeführte Änderungen an Zielen und Anforderungen müssen hinsichtlich der Auswirkung bewertet werden. (Schön et al., 2017; Vithana, 2015)	
Fokussierung der Planung auf die nächste Iteration	Bei der Planung der Aktivitäten für eine Iteration muss der Fokus auf diese gelegt werden, ohne das Gesamtziel des Projektes dabei aus den Augen zu verlieren. (Schmidt et al., 2017; Schön et al., 2017)	
Gewährleistung der Aktualität im Projekt	Um die Planung eines Sprints durchzuführen, ist zu gewährleisten, dass sämtliche Änderungen des Backlogs vorgenommen wurden.	H, J, K, M1, M2
Teamzusammenstellung ohne „Projektleiter“ und dezentrale Entscheidungsfindung	Es müssen geeignete Projektmitglieder gefunden werden, welche die notwendigen Methoden und Vorgehensweisen beherrschen. Dies ist insbesondere dahingehend herausfordernd, da sämtliche Entscheidungen dezentral vom Team getroffen werden sollen. (Conboy, Coyle, Wang & Pikkarainen, 2011; Dikert et al., 2016; Ovesen & Dowlen, 2012; Schmidt et al., 2017; Schön et al., 2017)	H, M1, M2

Ableich der Herausforderungen des sequenziellen und des agilen Zielsystemmanagements

Tabelle A.6: Abgleich der identifizierten Herausforderungen des sequenziellen und des agilen Zielsystemmanagements

Herausforderung	Agiles Zielsystemmanagement		Sequenzielles Zielsystemmanagement	
	Literatur	Praxis	Literatur	Praxis
Identifikation potentieller Kunden und Anwender künftiger Produkte & Auswahl von Vertretern	x	x		x
Identifikation der für Kunden und Anwender relevanten Ziele und Anforderungen			x	x
Definition von Zielen und Anforderungen in direkter Kooperation mit Anwendern und Kunden	x			
Schaffung eines Kompromisses, in dem sich jeder Stakeholder ausreichend repräsentiert fühlt	x	x	x	x
Gewährleistung eines angemessenen und notwendigen Maßes an Vollständigkeit				x
Berücksichtigen nicht-funktionaler Anforderungen	x	x		
Antizipation des Nutzerverhaltens bei neuartigen Produkten				x
Recherchieren und Interpretieren relevanter Normen				x
Unzureichender Reifegrad der Ziele und Anforderungen				x
Verfassen qualitativ hochwertiger Anforderungen			x	x
Gewährleistung eines einheitlichen Verständnisses der Ziele und Anforderungen /Eindeutige Formulierung von Zielen und Anforderungen	x	x	x	x
Transparenz: Anforderungen nachverfolgbar und wiederverwendbar gestalten	x		x	x
Priorisierung der Ziele und Anforderungen	x	x	x	x
Heterogenität der Tools / Demotivation der Entwickler durch komplexe Tools			x	x
Gewährleistung einer minimalen, aber ausreichenden Dokumentation	x			
Berücksichtigung von Abhängigkeiten sämtlicher Ziele und Anforderungen zueinander	x	x		
Berücksichtigen externer Abhängigkeiten	x	x		
Integration ermittelter Änderungsbedarfe			x	x
Betrachten des zu entwickelnden System als ganzes	x	x		
Abschätzen der Tragweite einer Änderung	x			
Fokussierung der Planung auf die nächste Iteration	x	x		

Modularisierung des Produkts durch Unterteilung in sinnvolle Aktivitäten	x	x		
Management des Backlogs: Nacharbeitsschritte in den Backlog aufnehmen und Neubewertung der Anforderungen und Ziele	x			
Zusammenarbeit der einzelnen Teams durch funktionierenden Schnittstellen	x	x		
Zu geringe Aufmerksamkeit, welche der Validierung beigemessen wird			x	x
Verfügbarkeit von Kunden und Anwendern für die Validierung	x	x		
Geheimhaltung bei der Zusammenarbeit mit Kunden und Anwendern		x		
Überprüfung der Ziele und Anforderungen, welche anfangs nur unscharf formuliert wurden	x			
Erstellen eines validierbaren Teilprodukts innerhalb einer Iteration und Herstellung von Prototypen	x	x		
Bewertung der Sinnhaftigkeit und Notwendigkeit definierter Anforderungen				x
Umfassende Validierung trotz hohem Zeit und Kostendruck			x	x
Differenzierung zwischen Verifizierung und Validierung				x
Fehlendes Know-How im Zielsystem- und Anforderungsmanagement			x	x
Mangelndes Verständnis für die Notwendigkeit eines Zielsystems- und Anforderungsmanagements			x	x
Begegnung des hohen Kostendrucks in der Produktentwicklung			x	x
Optionen möglichst lange offen halten	x	x		
Teamzusammenstellung ohne Projektleiter und dezentrale Entscheidungsfindung	x	x		
Gewährleistung der Aktualität im Projekt		x		

Herausforderungen des anlagentechnischen Brandschutzes

Tabelle A.7: Herausforderungen des anlagentechnischen Brandschutzes

Herausforderung	Erläuterung
Zusammenarbeit mit Entwicklungsdienstleistern in einem derartig großen Projekt	Das Projekt wurde aufgrund seiner umfassenden Größe und aufgrund dessen, dass das Unternehmen wenig Erfahrung mit der Entwicklung digitaler Produkte hat mit zwei Entwicklungsdienstleistern durchgeführt.
Fehlende Transparenz der Ressourcenplanung und Auslastung	Aufgrund der Größe und Komplexität des Projektes war es schwierig eine ausreichende Transparenz hinsichtlich der Ressourcenauslastung zu erhalten, was die Planung der Ressourcen erschwerte.
Fehlende Transparenz und Verbindlichkeit im Umfang der Arbeiten des Entwicklungsdienstleister	Die Vereinbarung hinsichtlich des Entwicklungsumfanges basierten auf den Zielen und Anforderungen, die Interpretationsspielraum ermöglichten. Dies führte zu fehlender Verbindlichkeit.
Abstimmungen über die Schnittstellen zwischen den Entwicklungsteams	Aufgrund der Komplexität des zu entwickelnden Systems war ein Koordination der verschiedenen Entwicklungsteams hinsichtlich der Schnittstellen äußerst herausfordernd.
Personelle Veränderungen in zentralen Positionen der Projektorganisation	Mehrfacher Wechsel des Product-Owners entlang des Projektverlauf hat zu Unsicherheiten bei den Mitgliedern der Projektteams geführt, insbesondere durch unterschiedliche Interpretation der Projektziele und der agilen Arbeitsweise.
Fehlende Interdisziplinarität des Projektteams	Nicht alle Rollen konnte im Projektteam besetzt werden. Rolle des Systemingenieurs konnte nicht durchgehend besetzt werden.
Bürokratische Begleitprozesse (Budgetcontrolling)	Restliche Unternehmensprozesse, wie bspw. der Finanzprozess, sind nicht agil. Somit kann es zu Komplikationen kommen.
Abstimmung mit den Entwicklungsdienstleistern	Bei der Kommunikation mit den Entwicklungsdienstleistern treten Missverständnisse auf, u. a. hinsichtlich der Interpretation von Zielen und Anforderungen, oder hinsichtlich der Systemverantwortung und Schnittstellendefinition.
Silodenken der Abteilungen	Das vorherrschende Silodenken zwischen den Abteilungen wurde durch die Zusammenarbeit mit externen Entwicklungsdienstleistern verstärkt. Somit bestanden Kommunikationsbarrieren.
Kein einheitliches Verständnis des Projektziels	Die unterschiedlichen Disziplinen, die am Entwicklungsprojekt beteiligt waren, haben die vorliegenden Projektziele unterschiedlich interpretiert.
Bewertung und Auswahl der Entwicklungsdienstleister	Die Bewertung der Kompetenzen der Entwicklungsdienstleister und Auswahl dieser fiel aufgrund der teils vagen formulierten Anforderungen schwierig.
Formulierung qualitativ hochwertiger Ziele und Anforderungen	Den Projektbeteiligten fiel es schwer Ziele und Anforderungen zu formulieren, die aus Sicht der interdisziplinären Entwicklungsteams eindeutig zu verstehen sind.

Implementierung nicht funktionaler Sicherheitsanforderungen (nicht normativ)	Das Einplanen und die Implementierung von sicherheitsrelevanten Aspekten, die nicht normativ sind stellte eine Herausforderung dar, da sie die Bereitstellung eines validierbaren Prototyps am Ende des Sprints bremste.
Umgang mit Wissens- und Definitionslücken	Einige Themen, wie bspw. Datensicherheit, wurden zu Beginn des Entwicklungsprojektes nur unzureichend definiert, da Wissen hinsichtlich der Komplexität gefehlt hat. Dies führte zu Herausforderungen hinsichtlich der Berücksichtigung dieser Themen im weiteren Projektverlauf.
Technische Spezifizierung im Kontext digitaler Produkte	Der Detaillierungsgrad der verschiedenen Ziele und Anforderungen variierte stark in Abhängigkeit davon, wie ausgeprägt das bereits verfügbare Wissen war. Dies führte zu Fehleinschätzungen hinsichtlich der notwendigen Ressourcen.
Fehlende oder unklare Definition of Done	Es wurden keine oder eine nur unzureichende Definition of Done formuliert, was die Abnahme der Artefakte im Review schwierig gestaltete. Dies führte zu ungeplanten Mehraufwänden.
Fehlende Validierung	Validierungsaktivitäten wurden nicht konsequent durchgeführt. Das Produkt wurde während der Entwicklung nicht durch Kunden und Anwender erprobt, sondern lediglich durch Entwickler.
Rückfall von agilen in sequenzielle Vorgehensweise und dadurch existierenden beiden Ansätze parallel	In manchen kritischen Situationen fand ein Rückfall in Richtung der sequenziellen Ansätze statt, was dazu führte, dass teilweise die agilen und die sequenzielle Vorgehensweise parallel zueinander bestanden.
Fehlende Identifikation mit den agilen Rollen	Die neuen agilen Rollen wurden nur teilweise akzeptiert, angenommen und gelebt.
Fehlendes Verständnis hinsichtlich der agilen Werte	Teilweise war das Verständnis hinsichtlich der agilen Werte und Prinzipien nur bedingt vorhanden, was im letzten Schritt dazu führte, dass die Methoden und Werkzeuge der agilen Vorgehensweise unterschiedlich interpretiert und ausgeführt wurden.
Schwierigkeit der Sprintplanung	Aufgrund fehlender und unscharfer Anforderungen fiel die Sprintplanung teilweise schwer, da teilweise im Vorfeld nicht klar war, welche Arbeitsschritte notwendig sein werden.