

Jonas Heimicke

Eine Methodik zur Entwicklung agil- strukturierter Prozesslösungen für die Einführung des ASD - Agile Systems Design

A methodology for developing agile-structured
process solutions for the implementation of ASD -
Agile Systems Design

Band 184

Systeme ■ Methoden ■ Prozesse

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

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

ISSN 1615-8113

Eine Methodik zur Entwicklung agil-strukturierter Prozesslösungen für die Einführung des ASD - Agile Systems Design

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. Jonas Heimicke

Tag der mündlichen Prüfung: 18.02.2025

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

Korreferent: Prof. Dr.-Ing. Kristin Paetzold-Byhain

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 184

Einer der im Kontext von Unternehmensprozessen und -veränderungen im Moment am meisten verwendete Begriff ist die Agilität. Agilität meint bei Vielen Beweglichkeit, Schnelligkeit, Flexibilität und dann im Bereich der Unternehmensprozesse oft „Wir machen alles schneller“. Dieses Verständnis von Agilität reicht sicherlich nicht aus, um im Kontext der Organisation und Realisierung von Produktentstehungsprozessen Agilität zu realisieren. Allerdings gibt dieses Verständnis doch auch bei vielen Unternehmen – und hier insbesondere bei den Leitungen der Unternehmen – die Richtung vor. „Wir wollen agiler werden – wir wollen agile Methoden einsetzen, um unsere Entwicklungsprozesse noch schneller zu machen, um dabei Geld und Kapazität zu sparen.“ Dies schwingt häufig mit, wenn – aus meiner Sicht oberflächlich – der Begriff Agilität als ein weiteres Ziel bei der Organisation von Produktentstehungsprozessen verwendet wird.

Ursprünglich kommt im Bereich der Organisation von Prozessen der Ansatz agiles Arbeiten aus der Erstellung von Software. Bereits im Jahr 2001 fordern führende Methodenspezialisten, Wissenschaftler und Anwender aus der Softwareentwicklung im Manifesto for Agile Software Development, dass durch eine Beschleunigung von Synthese-Analyse-Zyklen insgesamt die Erstellung von komplexer Software zielgerichteter und effektiver gelingen kann. Die synaptische, strukturierte, auf das Ziel ausgerichtete Planung geht dann über in eine sogenannte inkrementelle Planung, die nur den begrenzten Horizont des nächsten Entwicklungsschrittes in den Fokus nimmt und erst danach den folgenden Schritt definiert. Dieser Ansatz, der sicherlich im Umfeld der Softwareentwicklung in vielen Bereichen erfolgreich wurde, hat aber in der Übertragung auf die Synthese komplexer mechatronischer Systeme große Herausforderungen. Von Anfang an fordern die Verfechter agiler Ansätze, den Menschen ins Zentrum zu stellen und alles auf den Kunden auszurichten. Diese beiden Prinzipien gelten aber natürlich nicht nur für die agilen Ansätze, sondern sind u.a. auch im Rahmen der Karlsruher Schule für Produktentwicklung – KaSPro seit mehr als 25 Jahren als Grundlage aller Forschungsaktivitäten meiner Gruppe im KIT-IPEK formuliert in der Kernhypothese: Der Mensch muss im Mittelpunkt der Produktentwicklung und den zugehörigen Methoden und Prozessen stehen.

Der entscheidende Unterschied zwischen der Softwareentwicklung und der Entwicklung komplexer mechatronischer Systeme ist die notwendige Zeit zur Erstellung beurteilbarer Artefakte, mit deren Erprobung dann die weiteren Entwicklungsschritte definiert werden können. Während ein Softwaremodul nach seiner Synthese sehr einfach direkt getestet werden kann, sieht dieser Prozess bei einem mechatronischen System ganz anders aus. Ein Beispiel soll dies erläutern: das batterieelektrische Antriebssystem eines Fahrzeugs, dessen Konzipierung in den vielfältigen Teilsystemen und dann Erprobung als Gesamtsystem natürlich die zwischenzeitliche physische Synthese von Artefakten erfordert, mit denen dann die Erprobung durchgeführt werden kann. Hierbei unterstützen natürlich virtuellen

Methode, die insbesondere im Konzept der gemischt-physisch-virtuellen Validierung zumindest eine Beschleunigung erlauben, allerdings sind hier sehr oft Grenzen in der Qualität der Beurteilung der erreichten Reife der Lösung und seiner Leistungsstände zu beobachten. Es kann auf alle Fälle festgehalten werden, dass durch die sehr stark unterschiedlichen Synthese-Analyse-Zyklen zwischen Software und Hardware im mechatronischen Gesamtsystem große Herausforderungen an die Steuerung des Entwicklungsprozesses gegeben sind. Dies darf aber nicht dazu führen, dass die agilen Ansätze mit ihren Potenzialen einer schnellen Interaktion in der Zusammenarbeit nicht auch in diesem Bereich Anwendung finden. Die Erfahrung in vielen Forschungs- und Transferprojekten der Methoden und Prozesse der Karlsruher Schule für Produktentwicklung – KaSPro hat gezeigt, dass immer eine Individualisierung des agilen Konzeptes für Produktentwicklungsprozesse, bezogen auf die Randbedingungen im Unternehmen, zwingend erforderlich ist. Dies wird auch in der zweiten Hypothese der KaSPro deutlich: Jeder Produktentstehungsprozess ist einmalig und einzigartig.

Hier nun zu Lösungsvorschlägen zu kommen, wie auf der Basis einer strukturierten Analyse das richtige Maß und Konzept an Agilität für die Produktentwicklungsprozesse eines individuellen Unternehmens gefunden werden können, hat sich Herr Dr.-Ing. Heimicke in seiner Forschungsarbeit zum Ziel gesetzt und zu überzeugenden Lösungen geführt. Grundlage ist dabei das sogenannte ASD – Agile Systems Design der KaSPro – Karlsruher Schule für Produktentwicklung mit der Basishypothese: abhängig von den individuellen Randbedingungen des Unternehmens ist eine bedarfsorientierte Mischung von agilem Vorgehen mit plangetriebenem Vorgehen als individuelles Optimum zu definieren. Auf der Basis dieser Grundhypothese hat Herr Heimicke in seiner wissenschaftlichen Arbeit strukturiert erforscht, wie hier ein geeignetes und methodisches Vorgehen zur Findung des passenden Maßes an Agilität mit den zugehörigen Prozessen angegangen werden kann. Die Arbeit leistet sowohl im Bereich der Grundlagenforschung zu den Produktentwicklungsprozessen als auch mit ihren klaren Hilfen für die Praxis einen wertvollen Beitrag für die Produktentstehung des 21. Jahrhunderts.

Februar, 2025

Albert Albers

Kurzfassung

In der vorliegenden Arbeit wird die Integration agiler Elemente im Einklang mit den Rahmenbedingungen der Produktentstehungsprozesse in der Mechatronikbranche unter Nutzung bestehenden Produkt- und Prozesswissens thematisiert. Hierzu werden in einer Potentialanalyse zunächst bestehende Prozessmodelle und Projektmanagementansätze den Herausforderungen heutiger und zukünftiger Produktentstehungsvorhaben gegenübergestellt. Aus dieser Analyse wird unter Einbezug zweier Studien zur Bedarfsermittlung in der Anwendung agiler Methoden die Notwendigkeit abgeleitet, die gezielte Einführung dieser Methoden kombiniert mit strukturierenden Elementen als Problemlösungsprozess zu beschreiben. Dieser soll Grundlage der in der Arbeit vorgestellten Methodik sein.

Im ersten Ergebnisteil wird zur Spezifikation der Anforderungen an diese Methodik ein Agilitätsverständnis für die Mechatronikbranche hergeleitet und der Leistungsstand in der Anwendung agiler Methoden innerhalb von Unternehmen erhoben. Hierdurch wurde neben der Identifikation von Zielen und Herausforderungen in der Anwendung agiler Methoden gezeigt, dass der durch die Anwendenden wahrgenommene Mehrwert niedriger als der erwartete Mehrwert ist. Zur Erhöhung des wahrgenommenen Mehrwerts und dadurch der Akzeptanz gegenüber agilen Methoden wurden über 200 Einflussfaktoren auf die agilen Fähigkeiten von Organisationseinheiten ermittelt.

Auf dieser Grundlage wird eine Methodik zur gezielten Integration von Anwendungsfall-spezifischen Prozesslösungen entwickelt, die den Problemlösungsprozess der Einführung agiler Elemente im Einklang mit den Rahmenbedingungen der Mechatronikbranche unterstützt. Ein Beispiel hierfür ist die Berücksichtigung von Normen und Standards auch in der agilen Entwicklung. Dabei dienen die entwickelten Einflussfaktoren als Anwendungsfall-spezifische Stellgrößen. Diese gilt es in der Anwendung der Methodik zu priorisieren und aus einer in der Arbeit aufgebauten Sammlung geeignete Prozessmodelle, Methoden und Praktiken auszuwählen, die im jeweiligen Anwendungsfall für die Realisierung der Prozessverbesserung geeignet sind. Aus den ausgewählten Elementen wird eine Prozesslösung aufgebaut und iterativ in die Prozesse eingeführt.

Die Entwicklung der Methodik wurde durch neun Fallstudien zu drei unterschiedlichen Methodikstadien zum Zwecke der frühen und kontinuierlichen Evaluation begleitet. So konnte im letzten Evaluationsstadium gezeigt werden, dass die entwickelte Methodik für verschiedene Anwendungsfälle spezifische Prozesslösungen hervorbringt, die wiederum einen Anwendungsfall-spezifischen wahrgenommenen Mehrwert erzeugen. Dies erfolgt durch die Anwendungsfall-spezifische Kombination agiler und strukturierender Prozessmodelle, Methoden und Praktiken.

Abstract

In this thesis, the integration of agile elements in accordance with the constraints of product development processes in the mechatronics industry using existing product and process knowledge is addressed. For this purpose, existing process models and project management approaches are first compared with the challenges of current and future product development projects in a potential analysis. From this analysis, the necessity of describing the targeted introduction of these methods combined with structuring elements as a problem-solving process is derived with the inclusion of two studies on the determination of demand in the application of agile methods. This is to be the basis of the methodology presented in the work.

In the first part of the results, an understanding of agility for the mechatronics industry is derived to specify the requirements for the methodology, and the performance status in the application of agile methods within companies is surveyed. In addition to identifying goals and challenges in the application of agile methods, this showed that the added value perceived by the users is lower than the expected added value. To increase the perceived added value and thus the acceptance of agile methods, over 200 factors influencing the agile capabilities of organizational units were identified.

On this basis, a methodology is developed for the targeted integration of use-case-specific process solutions that supports the problem-solving process of introducing agile elements in line with the conditions of the mechatronics industry. One example of this is the consideration of regulations and standards in agile development as well. In this context, the influence factors developed serve as use case-specific control variables. These must be prioritized in the application of the methodology and suitable process models, methods and practices selected from a collection built up in the work, which are suitable in the respective use case for the realization of the process improvement. From the selected elements a process solution is built and iteratively introduced into the processes.

The development of the methodology was accompanied by nine case studies at three different methodology stages for the purpose of early and continuous evaluation. Thus, in the last evaluation stage, it could be shown that the developed methodology produces specific process solutions for different use cases, which in turn generate a use case-specific perceived added value. This is achieved through the use case-specific combination of agile and structuring process models, methods and practices.

Danksagung

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner Zeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am IPEK - Institut für Produktentwicklung am Karlsruher Institut für Technologie.

Meinem Doktorvater Herrn Professor Dr.-Ing. Dr. h.c. Albert Albers gilt mein ganz besonderer Dank. Er gab mir die Gelegenheit und das Vertrauen, im Rahmen der Promotion ein zukunftsrelevantes Thema als treibender Wissenschaftler zu erforschen. Durch seine Fähigkeiten, Potentiale zu erkennen, gemeinsam Zielbilder zu erarbeiten und dann bis ins kleinste Detail umsetzungsfähiges Feedback zu geben, konnte ich selbst als Person über die Zeit der Promotion reifen und auch für den Alltag wichtige Lektionen lernen. Vor allem seine Begeisterungsfähigkeit und sein unbändiger Wille, sich nicht mit dem Status quo zufrieden zu geben, haben mir auf unserem gemeinsamen Weg sehr geholfen.

Frau Prof. Dr.-Ing. Kristin Paetzold-Byhain danke ich für die Übernahme des Koreferats. Die wertvollen wissenschaftlichen Korrespondenzen sind nicht nur in einen gemeinsamen DFG-Antrag gemündet, sondern haben auch an vielen Stellen zu einer Reifung meiner wissenschaftlichen Erkenntnisse geführt.

Über die Zeit der Promotion habe ich viele wertvolle Kolleginnen und Kollegen kennenlernen dürfen. Den Herren Professor Dr.-Ing Nikola Bursac und Dr.-Ing. Nicolas Reiß danke ich für die enge Unterstützung gerade zu Beginn meiner wissenschaftlichen Tätigkeit. Von ihnen durfte ich viel für meinen späteren beruflichen Alltag lernen. Herrn Dr.-Ing. Simon Rapp, Dr.-Ing.-Florian Marthaler, Frau Dr.-Ing. Katharina Ritzer und Herrn Christoph Kempf möchte ich stellvertretend für die Forschungsgruppe EMM für eine wissenschaftlich und zwischenmenschlich unglaublich gewinnbringende Zeit danken.

Frau Petra Müller danke ich stellvertretend für die gesamte IPEK-Familie für eine wunderbare Arbeitsumgebung – stets auf Augenhöhe und mit viel Freude. Im IPEK hat man sich immer gegenseitig unterstützt und wir haben gemeinsam für jede Herausforderung eine tolle Lösung finden können.

Die vielen studentischen Abschlussarbeiten, die ich im Zuge meiner Dissertation betreuen durfte haben mir ebenfalls viele wertvolle Erfahrungen beschert. Hier möchte ich insbesondere Herrn Johannes Müller – mittlerweile ebenfalls wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut – Herrn Luis Bramato, Sebastian Trost und Yannick Reuter für eine treue und stets qualitativ hochwertige Zusammenarbeit danken, die mir in verschiedenen Richtungen wichtige Impulse für meine Forschung geliefert hat.

Meiner gesamten Familie danke ich für das Vertrauen, das sie mir vor und während der Zeit der Promotion geschenkt hat. Hierdurch habe ich mich stets sicher gefühlt,

was für eine Arbeit im Umfang und Komplexität einer Dissertation eine notwendige Vorbedingung ist.

Mein größter Dank gilt meiner Verlobten Inga Schwender und meinen beiden Kindern Ella und Maximilian. Ohne Euch hätte ich die Dissertation niemals fertiggestellt. Ich danke Euch für jeden Moment, den ihr mir schenkt. Daher widme ich Euch diese Dissertation.

„Erfahrung ist nicht das, was einem zustößt. Erfahrung ist das, was man aus dem macht, was einem zustößt.“

- Aldous Huxley

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung.....	i
Abstract.....	iii
Abbildungsverzeichnis.....	xiii
Tabellenverzeichnis.....	xxi
1 Einleitung	1
1.1 Motivation der Arbeit.....	2
1.2 Fokus der Arbeit.....	3
1.3 Aufbau der Arbeit	5
2 Stand der Forschung.....	7
2.1 Der Prozess der Produktentstehung.....	7
2.1.1 Der Innovationsbegriff.....	7
2.1.2 Verständnis der Produktentstehung.....	10
2.1.3 Das Modell der PGE – Produktgenerationsentwicklung.....	14
2.1.4 Der Kontext der Produktentstehung und sein Einfluss auf den Produktentstehungsprozess	17
2.1.5 ASE – Advanced Systems Engineering	21
2.1.6 Zwischenfazit zum Prozess der Produktentstehung	23
2.2 Unterstützung der Produktentstehung	25
2.2.1 Ausgewählte Ansätze zur Unterstützung der Produktentstehung	25
2.2.2 Ausgewählte plangetriebene Ansätze	28
2.2.3 Ausgewählte agile Ansätze.....	34
2.2.4 Beschreibungsmodelle des Produktentstehungsprozesses	42
2.2.5 Skalierte und hybride Ansätze	48
2.2.6 Status quo der Anwendung agiler Ansätze in der Praxis	58
2.2.7 Ansatz des ASD – Agile Systems Design	63
2.2.8 Zwischenfazit Ansätze in der Produktentwicklung	68
3 Zielsetzung der Arbeit	71
3.1 Zielsystem der Forschungsarbeit.....	71
3.1.1 Forschungsbedarf und Zielsetzung.....	71
3.1.2 Forschungshypothese und Forschungsprämissen.....	77
3.1.3 Forschungsfragen.....	78
3.2 Forschungsmethodik und -umgebungen	79
3.2.1 Einordnung der Forschungsarbeit.....	80
3.2.2 Untersuchungsmethoden und Forschungsumgebungen.....	83

4	Profil einer Methodik zur gezielten Implementierung von Agilität.....	89
4.1	Ein konsolidiertes Agilitätsverständnis	90
4.2	Analyse des IST-Stands agiler Entwicklung mechatronischer Systeme.....	98
4.2.1	Explorative Analyse der Anwendung agiler Arbeitsweisen	98
4.2.2	Herausforderungen in der agilen Entwicklung aus Sicht von Experten aus der Forschung und Praxis	105
4.2.3	Quantitative Analyse agiler Entwicklung in der Praxis	110
4.2.4	Zwischenfazit zum Einsatz agiler Ansätze in der Praxis	124
4.3	Identifikation von Einflüssen auf die agilen Fähigkeiten von Organisationseinheiten	125
4.4	Zwischenfazit – ein Methodenprofil	133
5	Methodik zur gezielten Einführung agiler Elemente in Entwicklungsprozesse.....	137
5.1	Struktur und Zweck der Methodik	138
5.2	Methodisches Ableiten des Zielsystems für eine Prozesslösung im jeweiligen Anwendungsfall	149
5.3	Auswählen von methodischen Elementen zur Einführung von Agilität.....	157
5.4	Einführung des entwickelten Ansatzes.....	173
5.5	Kontinuierliche Verbesserung der individuellen Prozesslösung	177
5.6	Zwischenfazit – methodische Einführung agiler Elemente	181
6	Evaluation der entwickelten Methodik.....	185
6.1	Vorstellung des Evaluationskonzepts.....	185
6.2	Erkenntnisse aus den Fallstudien	194
6.2.1	Evaluation des Umgangs mit den ASD-Grundprinzipien	194
6.2.2	Evaluation der methodischen Identifikation des spezifischen und generischen Methodenprofils	200
6.2.3	Evaluation des Beitrags der Gesamtmethodik zur Steigerung von Akzeptanz und wahrgenommenem Mehrwert gegenüber agilen Elementen.....	206
6.3	Verbesserungspotentiale der Methodik.....	213
7	Zusammenfassung und Fazit	217
7.1	Zusammenfassung	217
7.2	Fazit.....	225
8	Ausblick	227
	Literaturverzeichnis	I
	Liste eigener Vorveröffentlichungen	XIX

Glossar	XXIII
Anhang A.....	XXV
Produktprofiltemplate	XXV
Anhang B.....	XXVII
Prozessmodellanalyse (SCHÜRBÜSCHER 2020, 121ff.)	XXVII
Anhang C.....	XXIX
Interviewleitfaden: explorative Herleitung Forschungsbedarf	XXIX
Anhang D.....	XXXIII
Fragebogen zur explorativen Interviewstudie	XXXIII
Anhang E.....	XXXV
Übersicht über Einflussfaktoren auf agile Fähigkeiten	XXXV
Anhang F	XLI
Sammlung operativer Elemente	XLI
Anhang G	XLV
Methodenprofil und -Steckbrief Stahlbau Schauenberg GmbH	XLV
Anhang H.....	LI
Methodensteckbrief Scrum	LI
Anhang I	LIII
Mögliche Kriterien zur Erfolgsmessung	LIII
Anhang J	LV
Interviewleitfäden zur Methodikevaluation	LV
Anhang K.....	LXXI
Prozesslösung Fallstudie 3	LXXI
Anhang L	LXXIII
Organisationsstruktur bei der Stahlbau Schauenberg GmbH	LXXIII

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1.1:	Einordnung des Vorhabens in die Produktentstehungsforschung.....	3
Abbildung 1.2	Aufbau der Forschungsarbeit	5
Abbildung 2.1:	Visualisierung des Innovationsbegriffes nach Albers (1997) sowie Albers, Heimicke, Hirschter et al. (2018). Abbildung aus Albers (2018, S. 139).....	10
Abbildung 2.2:	Produktlebenszyklus, der die Produktentstehung enthält.	11
Abbildung 2.3:	Erweitertes ZHO-Modell.	13
Abbildung 2.4:	Links: Modell der Produkt-, Technologie- und Branchengenerationslebenszyklen nach WESNER (1977). Rechts: Das S-Kurven-Konzept des strategischen Innovationsmanagements nach FOSTER (1986).	15
Abbildung 2.5:	Entwicklung zweier Generationen basierend auf Referenzen, die jeweils in einem Referenzsystem zusammengefasst sind.....	16
Abbildung 2.6:	Einteilung des Kontexts der Produktentwicklung in Kontextebenen (Hales & Gooch, 2004).	18
Abbildung 2.7:	Ausbalancieren der Risiken, im Produktentstehungsprozess zu flexibel sowie zu strukturiert zu agieren nach P. G. SMITH.....	20
Abbildung 2.8:	Auflösungsgrade im Produktentwicklungsprozess (Lindemann, 2009, S. 38). Abbildung nach ALBERS, HEIMICKE, SPADINGER ET AL. (2019b).....	26
Abbildung 2.9:	Schema zur Klassifikation von Produktentstehungsansätzen (links) angewandt auf das Framework Scrum (siehe 2.2.3). Abbildung nach ATZBERGER, WALLISCH ET AL. (2020) Eigene Übersetzung	27
Abbildung 2.10:	Ursprüngliche (oberhalb) und weiterentwickelte Phasen des Entwicklungs- und Konstruktionsprozesses nach PAHL UND BEITZ (1977).	30
Abbildung 2.11:	Produktentstehungsprozess für komplexe Systeme nach Ulrich und Eppinger (2016, S. 22).	31

Abbildung 2.12:	Makrozyklus aus der VDI 2206. Eigene Darstellung in Anlehnung an VDI 2206.....	32
Abbildung 2.13:	1.-3. Generation des Stage-Gate® Prozesses nach COOPER (1994).....	34
Abbildung 2.14:	<i>Cynefin Framework</i> (links) nach SNOWDEN UND BOONE (2007), eigene Übersetzung und <i>Stacey-Matrix</i> (rechts) nach STACEY (2011)	37
Abbildung 2.15:	Kanban-Board – eigene Darstellung in Anlehnung an HEIKKILÄ ET AL. (2016).....	38
Abbildung 2.16:	Das agile Framework Scrum nach Schwaber und Sutherland (2020) in vereinfachter Darstellung	40
Abbildung 2.17:	Design Thinking Prozess nach PLATTNER ET AL. (2011).....	42
Abbildung 2.18:	iPeM – integriertes Produktentstehungs-Modell nach ALBERS, REIß, BURSAC UND RICHTER (2016).	44
Abbildung 2.19:	Prozessmodell der VDI 2221:2019 Blatt 1. Abbildung nach ALBERS (2020)	46
Abbildung 2.20:	Elemente zur Methodenauswahl nach Reiß (2018, S. 162)	47
Abbildung 2.21:	Die grundlegenden Kompetenzen des SAFe nach Scaled Agile Framework (2021).	51
Abbildung 2.22:	Agile-Stage-Gate Hybrid nach Cooper und Sommer (2018)	52
Abbildung 2.23:	Kategorisierung von Projektstrukturen zur Einordnung möglicher Herausforderungen und Motivation hybrider Projektstrukturen	53
Abbildung 2.24:	Zusammenhänge in der Einführung und Realisierung von technischer sowie kultureller Agilität nach Diebold et al. (2015)	57
Abbildung 2.25:	Assoziationen mit agiler Entwicklung	62
Abbildung 2.26:	Auflösungsgrade des Produktentstehungsprozesses nach ASD – Agile Systems Design unter Kombination iterativer und sequenzieller Vorgehensweisen auf verschiedenen Projektebenen	66
Abbildung 2.27:	Ausgewählte Elemente der KaSPro	68
Abbildung 3.1:	Ausprägungen der Anforderungen an den Produktentstehungsprozess aus den Ursachen der Dynamik und der Trägheit.	73

Abbildung 3.2:	Ergebnisse der quantitativen Umfrage zur Überprüfung der Annahmen bzgl. der Notwendigkeit einer methodisch gestützten Einführung agiler Elemente.....	76
Abbildung 3.3:	Die zentralen Forschungsfragen, die in der vorliegenden Forschungsarbeit beantwortet werden.	79
Abbildung 3.4:	Kernerkenntnisse der einzelnen Stadien, der vorliegenden Forschungsarbeit.	80
Abbildung 3.5:	Einordnung der Forschungsarbeit in die durch Blessing und Chakrabarti.....	83
Abbildung 3.6:	Fragebogenstudie nach BLESSING UND CHAKRABARTI (2009, 269ff.) und MARXEN (2014, 104ff.).....	84
Abbildung 3.7:	<i>oben</i> : Systematische Literaturrecherche nach KITCHENHAM ET AL. (2009), angewandt in Abschnitt 4.1, <i>unten</i> : Beobachtung nach BLESSING UND CHAKRABARTI (2009, 257ff.) und MARXEN (2014, 146ff.), angewandt in den Abschnitten 6.1 und 6.2.....	85
Abbildung 3.8:	<i>oben</i> : Interviewstudie nach BLESSING UND CHAKRABARTI (2009, 271ff.) und MARXEN (2014, 101ff.) angewandt in Abschnitten 3.1.1, 4.2.1 und 6.2 <i>unten</i> : Fallstudie nach BLESSING UND CHAKRABARTI (2009, S. 268) und MARXEN (2014, S. 98)	86
Abbildung 3.9:	Qualitative Inhaltsanalyse nach MAYRING UND FENZL (2019),.....	87
Abbildung 4.1:	Haupt- und Teilforschungsfragen zur Strukturierung empirischer Studien, um den Forschungsbedarf zu konkretisieren.....	89
Abbildung 4.2:	Übersicht über die Kernelemente der Studie: Anzahl und Branche der Teilnehmenden, Einordnung der Fragen in Themenbereiche sowie Vorgehen in der Interviewauswertung	100
Abbildung 4.3:	Fokus der Anwendung von Agilität, Darstellung nach (NextLevels, 2020)	102
Abbildung 4.4:	Charakteristik des durchschnittlichen Teilnehmenden an der Studie.....	113
Abbildung 4.5:	Übersicht über den Anteil der Teilnehmenden je Branche.....	115
Abbildung 4.6:	Bedeutung von Agilität aufgetragen nach prozentualer Häufigkeit der Nennung.....	116

Abbildung 4.7:	Übersicht über die Ziele, die mit dem Einsatz agiler Ansätze erreicht werden sollen nach Anteil an Gesamtnennungen	118
Abbildung 4.8:	Mittelwerte der Kriterien bezüglich des erwarteten (N=47) und wahrgenommenen (N=153) Mehrwerts in Bezug auf agiles Arbeiten	120
Abbildung 4.9:	Übersicht über die Verteilung in Bezug auf persönliche Akzeptanz der Teilnehmenden (N=153) gegenüber Agilität sowie auf Einstellung gegenüber agilem Arbeiten.	122
Abbildung 4.10:	Reale Ausprägung der jeweiligen Akzeptanzkriterien (Auszug) in grün, neutrale Ausprägung in grau, sowie der Idealzustand	124
Abbildung 4.11:	Auszug aus der Mentimeter-Umfrage und Visualisierung der Interpretation einer Aussage, um den Faktor <i>Umgang mit Zeitmangel</i> abzuleiten.	127
Abbildung 4.12:	Impressionen aus dem IPEK-Roundtable: ASD – Agile Systems Design 2019 (links); ausgewählte Gruppenergebnisse: Sammlung von Herausforderungen agiler Arbeitsweisen in der Praxis (rechts)	128
Abbildung 4.13:	Anzahl an Faktoren, die den jeweiligen Prinzipien des ASD – Agile Systems Design zugeordnet sind,	132
Abbildung 4.14:	Profil der Methodik nach Heimicke, Duehr et al. (2021)	134
Abbildung 5.1:	Haupt- und Teilforschungsfragen zur Strukturierung der Entwicklung des Lösungsansatzes zur Beantwortung des Forschungsbedarfes	137
Abbildung 5.2:	Vereinfachte Darstellung der entwickelten Methodik anhand des SPALTEN-Prozesses	140
Abbildung 5.3:	Methodik zur situations- und bedarfsgerechten Einführung agil-strukturierter Prozesslösungen nach HEIMICKE, DUEHR ET AL. (2021)	141
Abbildung 5.4:	Reihenfolge der Inkremente aus Methodikanwendung und Zusammenhang zwischen spezifischen und generischen Ergebnissen.....	143
Abbildung 5.5:	Auszug aus generischem Methodensteckbrief, vorgeschlagenen Methoden und Prozesslösung aus HEIMICKE, PFAU ET AL. (2021)	147
Abbildung 5.6:	Auszug von Verbesserungspotentialen/Herausforderungen, die	

	Mitglieder im Anwendungsfall des Technischen Büros beim Unternehmen Stahlbau Schauenberg GmbH 150
Abbildung 5.7:	Methodenprofil zur Prozessverbesserung bei dem Unternehmen <i>Stahlbau Schauenberg GmbH</i> in Anlehnung an NATALE (2021) 151
Abbildung 5.8:	Auszug aus dem Tool zur Unterstützung in der Generierung des generischen Methodenprofils. 155
Abbildung 5.9:	Im Anwendungsfall bei der <i>Stahlbau Schauenberg GmbH</i> ausgewählte Stellgrößen zur Verbesserung agiler Fähigkeiten 157
Abbildung 5.10:	Generischer Methodensteckbrief zur Prozessverbesserung im Anwendungsfall bei <i>Sennheiser</i> 160
Abbildung 5.11:	Portfolio zur Anwendungsfall-spezifischen Einschätzung der Eignung verschiedener Prozessmodelle zur Unterstützung der strategischen Ebene im Anwendungsfall 165
Abbildung 5.12:	Beispielhafte Liste von Methodiken, Methoden und Praktiken zur Unterstützung in einem beispielhaften Anwendungsfall sortiert nach ihrer Eignung. (Ng, 2020, S. 82) 166
Abbildung 5.13:	Einfluss des Fit-Kriteriums auf das Ranking der operativen Elemente in Abhängigkeit der Auswahl des Frameworks <i>Scrum</i> auf strategischer Ebene 169
Abbildung 5.14:	Beispiel für eine Prozesslösung (grün), die im Schritt der Lösungsauswahl aus dem Toolvorschlag in der Durchführung der <i>Methodik zur situations- und bedarfsgerechten Entwicklung und Einführung einer individuellen agil-strukturierten Prozesslösung</i> entwickelt wurde 170
Abbildung 5.15:	Formblatt zur Durchführung der Tragweitenanalyse bezüglich möglicher Auswirkungen der Einführung der spezifischen Prozesslösung 172
Abbildung 5.16:	Übersicht über den Auszug aus dem Entwickelten Tool zur Unterstützung des Einführungsprozesses 175
Abbildung 5.17:	Schematisch dargestellter Korridor der kontinuierlichen Verbesserung in der Einführung agil-strukturierter Prozesslösungen 176
Abbildung 5.18:	Auszug aus Retromethode <i>Start-Stop-More-Less-Keep</i> 180

Abbildung 5.19:	Auszug aus der Priorisierungs-Retromethode <i>Impact-Changeable</i>	180
Abbildung 6.1:	Haupt- und Teilforschungsfragen zur Strukturierung der Evaluation des entwickelten Lösungsansatzes	185
Abbildung 6.2:	Zeitpunkte der Evaluation in der Anwendung der in der Forschungsarbeit vorgestellten Methodik.	193
Abbildung 6.3:	Zuordnung der Anwendungsfall-spezifischen Optimierungspotentiale (Zeilen) zu den generischen Grundprinzipien des ASD – Agile Systems Design (Spalte) .	198
Abbildung 6.4:	Beispielhaftes System, das Automatisierungslösungen des Unternehmens aus <i>Fallstudie 5</i> enthält.....	201
Abbildung 6.5:	Vergleich der Informationen aus den generischen Methodenprofilen aus den Fallstudien 5 und 6. Hierdurch wird deutlich, dass jeder Anwendungsfall nach individuellen Verbesserungsmaßnahmen bedarf.	203
Abbildung 6.6:	Auf Basis des generischen Methodenprofils und den gewichteten Grundprinzipien entwickelte und eingeführte Prozesslösung in Fallstudie 6 (Heimicke, Pfau et al., 2021).	205
Abbildung 6.7:	Auszug aus dem spezifischen Methodenprofil (siehe Abbildung 5.7) vom Anwendungsfall Technisches Büro bei der <i>Stahlbau Schauenberg GmbH</i>	208
Abbildung 6.8:	Für den Anwendungsfall <i>technisches Büro bei der Stahlbau Schauenberg GmbH</i> entwickelte und implementierte Prozesslösung.	210
Abbildung 6.9:	Auswertung ausgewählter Fragen aus dem quantitativen Teil der dritten Evaluationsiteration.	211
Abbildung 6.10:	Anteil der jeweils den entsprechenden Evaluationsarten zugeordneten Fragen nach den Likert-Werten aus den drei Fallstudien im Rahmen der dritten Evaluationsiteration.	212
Abbildung 6.11:	Auszug aus dem regelmäßigen wissenschaftlichen Austausch zwischen den Abschlussarbeitern, die die Fallstudien der letzten Evaluationsiteration durchgeführt haben.	214
Abbildung 7.1:	Forschungsfragen, die in der Forschungsarbeit beantwortet wurden	219
Abbildung 7.2:	Grobablauf der in der entwickelten Methodik	221

Abbildung 7.3: Auszug aus der Evaluation der Methodik in drei
Fallstudien.....224

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Übersicht der im weiteren Verlauf der Arbeit vorgestellten Ansätze28
Tabelle 2:	Vergleich verschiedener agiler Skalierungsframeworks nach Ebert und Paasivaara (2017), eigene Übersetzung. Frameworks im blauen Rahmen werden aufgrund ihrer häufigen Nutzung im weiteren Verlauf vorgestellt.....49
Tabelle 3:	Übersicht über Basisinformationen der vorgestellten Studien.....59
Tabelle 4:	Zusammenfassung der Phasen der systematischen Literaturrecherche91
Tabelle 5:	Definitionen von Agilität – gekennzeichnet sind Generikum und Spezifikum.....92
Tabelle 6:	Anforderungen an die Integration von Agilität aus ausgewählten Interviews, die im Rahmen der Leistungsstandserhebung <i>Engineering in Deutschland</i> geführt wurden. (Dumitrescu et al., 2021)108
Tabelle 7:	Anzahl der Einflussfaktoren auf die agilen Fähigkeiten von Organisationseinheiten je Handlungsfeld130
Tabelle 8:	Fünf Einflussfaktoren auf die agilen Fähigkeiten von Organisationseinheiten, aus dem Handlungsfeld 3.1 PGE – Produktgenerationsentwicklung mit Erklärung und Zuordnung zu den Grundprinzipien des ASD. (Albers, Heimicke, Trost & Spadinger, 2020) in Anlehnung an TROST (2020, 163f.)131
Tabelle 9:	Übersicht der Intervalle einzelner Vernetzungsparameter171
Tabelle 10:	Übersicht über Iterationen der Evaluation187
Tabelle 11:	Übersicht über die durchgeführten Fallstudien. In grau: Evaluationsiteration 1, in grün: Evaluationsiteration 2, in blau: Evaluationsiteration 3189
Tabelle 12:	Ausgewählte Fragen in der Evaluationsiteration 3. Der Buchstabe in der ID lässt auf die Zuordnung der Frage zur Evaluationsart – Erfolgsevaluation ,

Unterstützungsevaluation und Anwendungsevaluation – schließen.	191
--------------------------------------------------------------------------------------	------------

1 Einleitung

Der sich zuspitzende Unternehmenswettbewerb um Kundinnen und Kunden und der damit verbundene Zwang zur Produktdifferenzierung zieht eine zunehmende Steigerung in der Funktionsvielfalt technischer Systeme nach sich (Albers in Fahl, 2022). Marktseitig bestimmen unter anderem das Verlangen der Konsumierenden nach gesteigerter Konnektivität, das Streben nach einer Wissenskultur und der Wandel der Gesellschaft hin zu einer Neoökologie die Anforderungen an Produkte (Mont, 2002; Zukunftsinstitut, 2021). Die beschriebenen Veränderungen begünstigen es, dass die Entwicklung eines rein mechanischen, technischen Systems nicht länger im alleinigen Wertschöpfungsfokus von Unternehmen steht. Die Gestaltung von Geschäftsmodellen entlang verschiedener Produktlebenszyklusphasen, zunehmender Einbezug von Kundinnen, Kunden und Anwendenden in die Entwicklungsprozesse und eine steigende Diversität der am Produktentstehungsprozess beteiligten Domänen kennzeichnen daher die Aktivitäten von Handlungssystemen der Gegenwart und Zukunft. (Dumitrescu et al., 2021)

In der Gestaltung dieser integrierten Produktentstehungsprozesse werden vermehrt agile Methoden genutzt. Hierdurch sollen Planungsaufwände reduziert, der Kundenfokus verstärkt und die Reaktionsfähigkeit von Entwicklungsteams erhöht werden. Dabei existiert bereits erste Forschung im Feld der agilen Methoden für die Entwicklung mechatronischer Systeme¹. Die Anwendungsfall-spezifische Integration agiler Elemente im Einklang mit den Rahmenbedingungen der Produktentstehungsprozesse von Unternehmen der Mechatronikbranche mit dem Fokus der Nutzung von bestehendem Produkt- und Prozesswissen ist derzeit noch außerhalb des wissenschaftlichen Fokus.

In der vorliegenden Forschungsarbeit wird die Einführung agiler Methoden und Praktiken in die Produktentstehungsprozesse von Unternehmen, die mechatronische Systeme entwickeln und produzieren, erforscht und weiterentwickelt. Hierzu erfolgt in diesem Kapitel eine Konkretisierung der Motivation (Abschnitt 1.1), eine Einordnung der Arbeit in den wissenschaftlichen Kontext (Abschnitt 1.2) und eine kurze Erläuterung des Aufbaus der Arbeit (Abschnitt 1.3).

¹ Stand Mai 2022 bringt eine Suche via scopus.com mit dem String *“agile methods” AND (mechatronic OR mechanic OR “physical product” OR “technical system”)* 45 Quellen hervor.

1.1 Motivation der Arbeit

Bei der Einführung agiler Methoden in Produktentstehungsprozesse gilt es, die Vorteile agiler Ansätze zu identifizieren und gezielt in die Prozesse einzubringen. Allerdings muss ein Nutzen durch Agilität für den jeweiligen Anwendungsfall gegeben sein, bevor eine Einführung agiler Methoden vollzogen werden sollte. Dies gilt es vorab zu analysieren. Die Integration agiler Methoden muss dann unter der Berücksichtigung und Nutzung von unternehmensspezifischem Produkt- und Prozesswissen erfolgen. Nur so lassen sich Produktentstehungsprozesse langfristig weiterentwickeln und verbessern. Für eine Verbesserung der Einführung agiler Methoden in die Entwicklungsumgebungen von Unternehmen der Mechatronikbranche ist der Wissenszugewinn in den folgenden Aspekten von Interesse:

- Bestimmung der Eignung agiler Methoden, Prozesse und Praktiken zur Verbesserung der Entwicklung in Unternehmen der Mechatronikbranche
- Definition von Zielen und Einflussfaktoren, die mit der Anwendung agiler Methoden erreicht und verbessert werden können
- Weiterentwicklung von agilen Produktentstehungsprozessen unter Weiternutzung von Wissen aus Referenzprozessen
- Formalisierung einer Vorgehensweise zur Einführung agiler Elemente im Einklang mit den individuellen Rahmenbedingungen

In der Forschungsarbeit soll daher eine Methodik zur anwendungsfallspezifischen Integration agiler Elemente unter den Rahmenbedingungen von Produktentstehungsprozessen in der Mechatronikbranche und Nutzung bestehenden Produkt- und Prozesswissens entwickelt werden. Hierzu soll ein Vorgehen definiert werden, mittels dessen Empfehlungen hinsichtlich der Eignung verschiedener Methoden, Prozesse und Praktiken für die Anwendung im jeweiligen Anwendungsfall gegeben werden können. Zudem sollen Personen(gruppen) mit dem Wunsch nach Verbesserung des Produktentstehungsprozesses durch ein formalisiertes Vorgehen in der Anwendungsfall-spezifischen Umsetzung der Verbesserung unterstützt werden.

1.2 Fokus der Arbeit

Der Fokus der Arbeit liegt in der Weiterentwicklung des Handlungssystems² der Produktentstehung durch die Einführung von agilen Elementen in die Aufbau- und Ablauforganisation. Die Zielgruppe der Methodik besteht aus Entwickelnden und Prozessbeschreibenden in der Branche der Mechatronik. In den hier wirkenden Unternehmen werden technische Systeme unter Einbezug der Domänen Mechanik, Elektronik und Informatik entwickelt und produziert. Eine Einordnung der Forschungsarbeit in angrenzende Forschungsfelder findet sich in Abbildung 1.1.

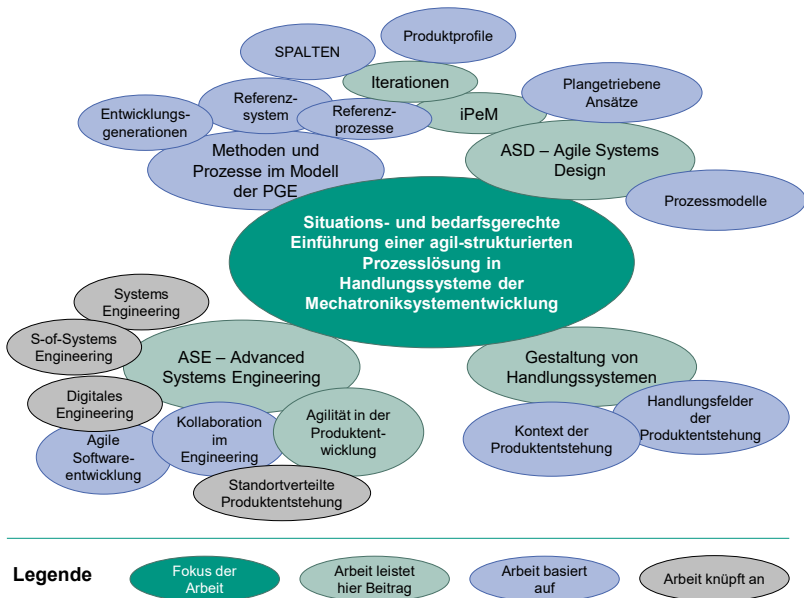


Abbildung 1.1: Einordnung des Vorhabens in die Produktentstehungsforschung

Die Forschungsarbeit baut auf dem Verständnis der Produktentstehung nach dem Modell der PGE – Produktgenerationsentwicklung nach Albers et al. (2015a) auf.

² Albers, Lohmeyer und Ebel (2011) nutzen das ZHO-System zur Beschreibung der Produktentstehung (Siehe Abschnitt 2.1.2). Dabei beinhaltet das Handlungssystem alle Ressourcen und Aktivitäten zur Produktentstehung.

Demnach werden Produkte in fortlaufenden Generationen basierend auf einem Referenzsystem entwickelt. Durch die Kombination von Elementen aus dem *ASD – Agile Systems Design* nach Albers, Heimicke, Spadinger et al. (2019a) und dem Modell der PGE sowie der gezielten Nutzung weiterer agiler Methoden soll ein Angebot an Elementen zur agilen Prozessgestaltung entstehen, das in Abhängigkeit der individuellen Anforderungen eines jeden Anwendungsfalls in das jeweilige Handlungssystem eingebracht werden kann. Dabei baut die Forschungsarbeit auf der Beschreibung von Handlungssystemen anhand der VDI2221:2019 auf und erweitert diese um Faktoren, die als Stellhebel die agilen Fähigkeiten von Handlungssystemen beeinflussen. Durch das geschaffene Verständnis im Zusammenwirken der beschriebenen Elemente durch die Forschungsarbeit kann zudem ein Beitrag in der Ausgestaltung von Methoden und Prozessen zur Strukturierung des Paradigmas *ASE – Advanced Systems Engineering* geleistet werden. Die im ASE zu entwickelnden Methoden, Prozesse und Werkzeuge können durch die Kenntnis über das Zusammenwirken der Stellhebel für die Verbesserung agiler Fähigkeiten von Handlungssystemen ausgelegt werden. Es folgt eine Übersicht über den Aufbau der Arbeit.

1.3 Aufbau der Arbeit

Die Forschungsarbeit gliedert sich in 8 Kapitel (siehe Abbildung 1.2).



Abbildung 1.2 Aufbau der Forschungsarbeit

Kapitel 2 beschreibt die wissenschaftlichen Theorien, auf denen die Forschungsarbeit fußt. Im Wesentlichen beinhaltet es zwei Blickwinkel auf zukünftige Produktentstehungsprozesse. So werden zunächst das Innovationsverständnis, das Modell der PGE – Produktgenerationsentwicklung nach Albers und darüber hinaus der Kontext der Produktentstehung beschrieben. Darüber hinaus werden bestehende Prozessmodelle und Rahmenwerke dargelegt, die dem Umgang mit zukünftigen Herausforderungen dienen. Eine Analyse aus Nachfrage (zukünftige Herausforderungen) und Angebot (bestehende Modelle und Frameworks) leitet in den Forschungsbedarf über.

Dieser wird in **Kapitel 3** konkretisiert. Zudem wird eine Forschungshypothese abgeleitet, in ein Forschungsziel und Forschungsfragen überführt und die Forschungsmethodik und -Umgebung beschrieben.

Die Darlegung der Erkenntnisse aus der Forschungsarbeit beginnt in **Kapitel 4** mit der Konkretisierung der Bedarfssituation in der Einführung agiler Elemente in die Handlungssysteme von Unternehmen in der Mechatronikbranche. Hierbei wird ein Agilitätsverständnis kondensiert, Herausforderungen in der agilen Entwicklung mechatronischer Systeme evaluiert und Einflussfaktoren auf die agilen Fähigkeiten von Handlungssystemen beschrieben. Das Kapitel schließt mit einem Profil an die methodische Unterstützung in der situations- und bedarfsgerechten Einführung agiler Elemente.

Dieses Profil wird in die *Methodik zur situations- und bedarfsgerechten Entwicklung und Einführung einer individuellen agil-strukturierten Prozesslösung* überführt, die in **Kapitel 5** vorgestellt wird. Hier werden die grundlegenden Zusammenhänge der Methodik und ihre Elemente beschrieben. Zudem erfolgt die Vorstellung der Teilergebnisse, die unter Anwendung der Methodik generiert werden – ein individuelles Methodenprofil, eine individuelle Methode bestehend aus agilen und plangetriebenen Prozesselementen, ein Konzept zur Einführung der Methode sowie ein Konzept zur Erfolgsmessung.

In **Kapitel 6** wird die Evaluation der in der Forschungsarbeit entwickelten Methodik vorgestellt. Zunächst wird die Vorgehensweise in der Evaluation beschrieben. Daraufhin werden die drei Evaluationsiterationen beschrieben und ausgewählte Erkenntnisse aus den neun durchgeführten Fallstudien diskutiert.

Zusammengefasst wird die Forschungsarbeit in **Kapitel 7**. Hier werden die Erkenntnisse und Ergebnisse des Forschungsvorhabens kompakt dargelegt und ein abschließendes Fazit gezogen.

Die Forschungsarbeit schließt mit **Kapitel 8**, in dem ein wissenschaftlicher Ausblick basierend auf den in dieser Arbeit gewonnenen Erkenntnissen erfolgt. Hieraus werden Impulse für mögliche vertiefende zukünftige Forschungsvorhaben abgeleitet.

2 Stand der Forschung

In diesem Kapitel wird der Stand der Forschung zum Prozess der Produktentstehung beschrieben. Diese schließt im Verständnis nach Albers & Gausemeier (2012) die Produktentwicklung mit ein und mündet in die Fertigung. Hierzu werden in Abschnitt 2.1 das Verständnis der Produktentstehung sowie die im Stand der Forschung bekannten Anforderungen an Ansätze zur Unterstützung der Produktentstehung dargelegt. In Abschnitt 2.2 wird daraufhin das derzeitige Angebot an Modellen und Rahmenwerken zur Unterstützung der Produktentstehung mit dem Fokus auf die Gestaltung agiler und plangetriebener Vorgehensweisen beschrieben. Kapitel 2 stellt somit die Basis zur Beschreibung der Forschungslücke in Kapitel 0 dar.

2.1 Der Prozess der Produktentstehung

In diesem Abschnitt wird das der Forschungsarbeit zu Grunde liegende Verständnis zentraler Elemente im Produktentstehungsprozess beschrieben. Zudem werden die in der Literatur bekannten Anforderungen aus dem Produktentstehungskontext und dessen Umfeld an die Weiterentwicklung von Prozessmodellen beschrieben. Der Abschnitt beginnt mit der Herleitung des Innovationsbegriffs (Abschnitt 2.1.1). Darauf folgend wird der Prozess des Schaffens von Innovationen beschrieben, die Produktentstehung in den Produktlebenszyklus eingeordnet und das erweiterte System-Triple zur Beschreibung der Produktentstehung eingeführt (Abschnitt 2.1.2). Diese wird durch die Einführung des Modells der PGE – Produktgenerationsentwicklung nach Albers in Abschnitt 2.1.3 konkretisiert. Die Gründe für die vermehrte Einführung agiler Ansätze in den Produktentstehungskontext werden in Abschnitt 2.1.4 identifiziert und eingeordnet. Es folgt eine Kurzvorstellung des Leitbildes ASE – Advanced Systems Engineering zur Unterstützung der zukünftigen Produktentstehung (Abschnitt 2.1.5) sowie ein Zwischenfazit, zum Aufzeigen des Bedarfs und der Anforderungen an die Weiterentwicklung von Prozessmodellen und Ansätzen zur Unterstützung der Produktentstehung in Abschnitt 2.1.6.

2.1.1 Der Innovationsbegriff

Um sich am Markt zu differenzieren und durch die Befriedigung von Kundinnen-, Kunden- und Anwendendenbedarfen nachhaltigen Unternehmenserfolg zu erzielen, streben Unternehmen stetig nach Innovationen (Coskun Samli & Weber, 2000;

Johne & Snelson, 1988). Trotz der folglich hohen ökonomischen Relevanz von Innovationen zeigen bereits Garcia und Calatone (2002), dass in der Wissenschaft zum einen kein einheitliches Verständnis des Innovationsbegriffs vorliegt und darüber hinaus selbst ausgewählte renommierte Werke verschiedene Begriffsdefinitionen innerhalb desselben Textes nutzen. Ein großer Anteil der heterogenen wissenschaftlichen Verständnisse des Innovationsbegriffs ist auf den österreichischen Nationalökonom Schumpeter zurückzuführen (Isaksson et al., 2019). In seiner *Theorie der wirtschaftlichen Entwicklung* leitete er her: „[...] für die Vorgänge der Wirtschaft kommt nur der Unternehmer in Betracht, Erfindungen haben dafür eine ganz sekundäre Rolle — sie vermehren nur die ohnehin schon unbegrenzte Zahl der vorhandenen Möglichkeiten.“ (Schumpeter, 1912, S. 179).³ In weiteren wissenschaftlichen Werken konkretisierte er sein Innovationsverständnis, indem er die Innovation wie folgt definiert: „Das Wesen einer Innovation ist die Durchsetzung neuer [Faktor-] Kombinationen, die allerdings diskontinuierlich auftritt und nicht stetig erfolgt“ (siehe Schumpeter (1934, S. 100) nach Ili (2009, S. 8)).

In den über die Jahrzehnte entstandenen verschiedenen Definitionen ist die Eigenschaft der Neuheit ein durchgängig verwendetes Charakteristikum eines Produkts als Innovation (Garcia & Calatone, 2002; Isaksson et al., 2019). So definieren TERWIESCH UND ULRICH (2009) eine Innovation als „[...] neue Verbindung zwischen einem Bedarf und einer Lösung.“ (übersetzt). ALBERS, HEIMICKE, WALTER ET AL. (2018) spezifizieren dieses Verständnis durch das Element des Produktprofils:

Definition 1: Produktprofil

„Ein Produktprofil ist ein Modell eines Nutzenbündels, das den angestrebten Anbietenden-, Kundinnen- und Kunden- und Anwendendennutzen 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 Kundinnen und Kunden verkauft zu werden und für diese direkt oder indirekt – z.B. für von ihnen berücksichtigte Anwendende oder für ihre Kundinnen und Kunden – Nutzen zu stiften.“

³ Sinngemäß wird diese Aussage oftmals damit übersetzt, dass „eine Innovation nicht nur etwas Neues, sondern etwas erfolgreiches Neues“ ist. Diese Aussage lässt sich mit Schumpeters Theorien belegen, da er die wirtschaftliche Relevanz von Innovationen im Gegensatz zu Inventionen betont.

Hier wird der Nutzen, der durch eine Innovation für Kundinnen, Kunden, Anwendende und Anbietende entsteht, in den Mittelpunkt des Innovationsverständnisses und damit für den Erfolg am Markt gestellt. Bereits COOPER UND KLEINSCHMIDT (1987) verstanden den frühen und kontinuierlichen Einbezug und Berücksichtigung von Kundenbedürfnissen im Produktentstehungsprozess als entscheidenden Faktor für den späteren Produkterfolg. Demnach fällt dem Produktprofil als Element für die frühzeitige Modellierung und Absicherung von potenziellen Nutzenbündeln eine zentrale Rolle im Produktentstehungsprozess zu. In Anhang A ist ein Template zur Profilmodellierung dargestellt. Es eignet sich unter anderem als Artefakt zum Vergleich verschiedener Nutzenbündel sowie zur frühzeitigen und gezielten Konkretisierung potenzieller Anwendungsfälle (Albers, Heimicke, Walter et al., 2018).

Die Realisierung des Nutzens für Kundinnen, Kunden, Anwendende und Anbietende kann durch eine Neuerung im Produkt (vgl. z. B. (Henderson & Clark, 1990)), im Prozess (Crossan & Apaydin, 2010) oder im Geschäftsmodell (Albers, Basedow et al., 2020; Crossan & Apaydin, 2010) erfolgen (siehe auch Ili (2009, S. 9)). Die Neuerung selbst wird als Invention bezeichnet, die jedoch ohne die Einführung in den Markt mangels ihrer wirtschaftlichen Relevanz klar von einer Innovation abgegrenzt wird (Schumpeter, 1934, S. 100). In der vorliegenden Forschungsarbeit soll eine Methodik entwickelt werden, mittels derer die Entwicklungsumgebung für die Schaffung von Produktgenerationen mit hohem Innovationspotential verbessert werden kann. In der vorliegenden Forschungsarbeit wird zur weiteren Berücksichtigung der in diesem Abschnitt beschriebenen Zusammenhänge⁴ der Innovationsbegriff nach Albers, Heimicke, Walter et al. (2018) verwendet. Dieser ist wie folgt definiert:

Definition 2: Innovation

„Eine Innovation ist die erfolgreiche Realisierung einer Neuheit, einer kreativen Idee oder Invention am Markt mit erweitertem Kundinnen-, Kunden-, Anwendenden- und Anbietendennutzen.“ (Albers, Heimicke und Walter et al. (2018), übersetzt nach IPEK Glossar)

In Abbildung 2.1 wird dieses Verständnis visualisiert. Eine Innovation entsteht damit aus der kommerziellen Realisierung (Markteinführung) einer Invention, durch die ein

⁴ Eine Innovation ist nicht nur neu, sondern erfolgreich und neu. Eine Innovation realisiert stets ein Nutzenbündel aus erweitertem Kundinnen-, Kunden-, Anwendenden- und Anbietendennutzen. Eine Innovation ist in den Markt eingeführt.

aus Sicht des Marktes relevantes Nutzenbündel für Kundinnen, Kunden, Anwendende und Anbietende (Produktprofil) entsteht. (Albers, Heimicke, Hirschter et al., 2018; Albers, Heimicke, Walter et al., 2018)

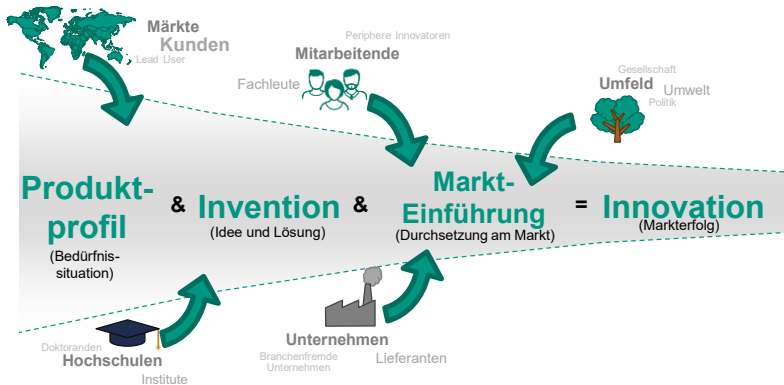


Abbildung 2.1: Visualisierung des Innovationsbegriffes nach Albers (1997) sowie Albers, Heimicke, Hirschter et al. (2018). Abbildung aus Albers (2018, S. 139)

Das Ziel innerhalb der Produktentstehung besteht somit in der Schaffung von *etwas erfolgreichem Neuen* durch die Durchführung und Koordination der notwendigen Aktivitäten zur integrierten und iterativen Synthese und Analyse von Produktprofil, Invention und Markteinführung. Im folgenden Abschnitt wird dies konkretisiert.

2.1.2 Verständnis der Produktentstehung

In der Produktentwicklungsforschung existieren verschiedene Bezeichnungen der schöpferischen Prozesse im Rahmen der Produktkreation (siehe dazu VDI2221:2019 Blatt 1). In der vorliegenden Arbeit sind die Begriffe der Produktentstehung und Produktentwicklung relevant (siehe Abbildung 2.2).

Demnach schließt die Produktentstehung die Produktentwicklung neben der strategischen Produktplanung und der Produktionssystementwicklung ein und mündet in die Fertigung des entwickelten Produkts (Albers & Gausemeier, 2012). Im Fokus der Forschungsarbeit liegt zwar die Produktentwicklung; da diese jedoch im weite-

ren Verlauf integriert betrachtet wird und damit die Produktionssystem-, Validierungssystem- und Strategieentwicklung sowie die Entwicklung mehrerer Generationen einschließt, wird der Terminus der Produktentstehung verwendet. Hierdurch wird sichergestellt, dass Informationen und Randbedingungen aus dem gesamten Produktentstehungskontext berücksichtigt werden.

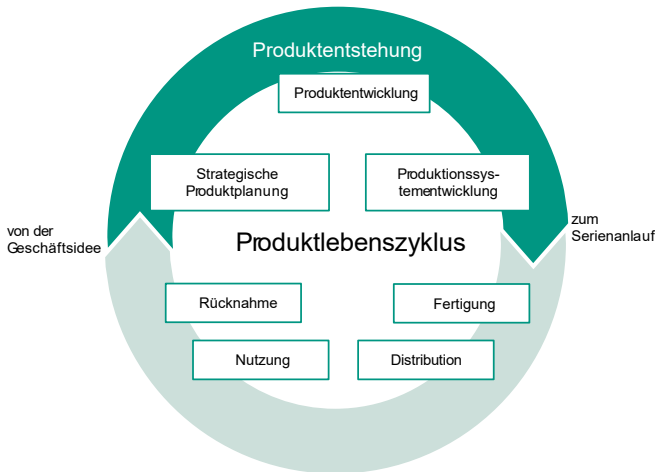


Abbildung 2.2: Produktlebenszyklus, der die Produktentstehung enthält. Die Produktentwicklung ist wiederum Teil der Produktentstehung. Eigene Darstellung nach Albers und Gausemeier (2012)

Folgende Definitionen für die Produktentstehung und Produktentwicklung werden weiter genutzt.

Definition 3: Produktentstehung

„Die Produktentstehung ist Teil des Produktlebenszyklus und beschreibt den grundsätzlichen Ablauf von der Produkt- bzw. Geschäftsidee bis zum Serienanlauf. Sie umfasst die drei Hauptaufgabenbereiche strategische Produktplanung, Produktentwicklung und Produktionssystementwicklung.“ (ALBERS UND GAUSEMEIER (2012), S.18)

Definition 4: Produktentwicklung

„[...] interdisziplinärer Unternehmensprozess zur Entwicklung eines marktfähigen Produkts, basierend auf der Definition initialer Ziele und Anforderungen an das Produkt, die im Lauf des Prozesses kontinuierlich weiterentwickelt und iterativ angepasst werden“ (VDI-Richtlinie 2221:2021 Blatt 1).

Dabei ist es das Ziel, in der Produktentstehung unter kontinuierlicher Informationsgenerierung und -kondensierung Bedarfe und Ziele in funktionsfähige Produkte zu überführen. Ein Produkt wird hierbei als ein Ergebnis einer Entwicklung und Realisierung (Produktentstehung) verstanden, das einem Kunden anbietbar ist und einen Nutzen für diesen erzeugt (Kotler et al., 2017, S. 408; VDI 2221:2019). Dabei ist ein Produkt eine beliebige Kombination aus einem technischen System oder einer Komponente, einem Service und einem Geschäftsmodell (Albers, Basedow et al., 2020; DIN).

Abstrahiert lässt sich die Produktentstehung als iterative Interaktion dreier Systeme beschreiben (Ropohl, 1975). Albers (2010) greift diesen Gedanken auf und modelliert den Produktentstehungsprozess als das *erweiterte System-Triple der Produktentstehung* (siehe Abbildung 2.3) (Albers, Lohmeyer & Ebel, 2011). Nach diesem Modell ist die Produktentstehung ein sozio-technisches System, dessen Fokus das Handlungssystem (Definition 6) darstellt. Es enthält alle notwendigen Ressourcen (insbesondere Produktentwickler), die zur Realisierung eines Produkts notwendig sind. Das Handlungssystem synthetisiert und konkretisiert auf Grundlage seiner zeitabhängigen Wissensbasis ein Zielsystem (Definition 5). Aus der Zielsystemanalyse lässt sich eine mentale Repräsentation aller zu einem bestimmten Zeitpunkt in der Produktentstehung möglichen Lösungen zur Realisierung des Zielsystems abbilden, aus dem das Objektsystem (Definition 7) synthetisiert wird. Die kontinuierliche und wiederkehrende Überprüfung des Objektsystems gegenüber dem Zielsystem liefert eine Erweiterung der Wissensbasis, wodurch das Zielsystem weiterhin konkretisiert werden kann. Durch die hiermit beschriebenen Iterationen ist eine Ko-Evolution von Ziel- und Objektsystem im Entwicklungsprozess und damit die kontinuierliche Absicherung der Zweckerfüllung des entwickelten Produkts möglich. (Albers, Lohmeyer & Ebel, 2011)

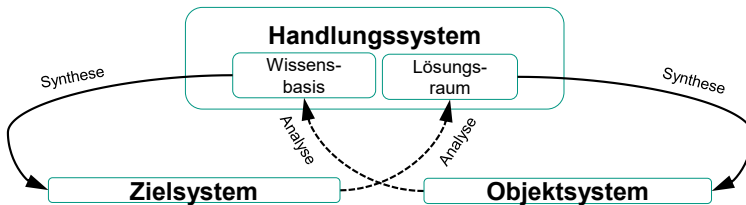


Abbildung 2.3: Erweitertes ZHO-Modell. Eigene Darstellung in Anlehnung an Albers, Lohmeyer und Ebel (2011), Übersetzung nach Lohmeyer (2013, S. 122)

MEBOLDT (2009, 158ff.) definiert die Systeme des ZHO-Modells wie folgt:

Definition 5: Zielsystem

„Im Zielsystem werden alle relevanten Ziele, deren Randbedingungen, Abhängigkeiten und Wechselwirkungen beschrieben. Das Zielsystem enthält die explizite Dokumentation der zur Realisierung nötigen Informationen. Die Elemente im Zielsystem müssen nachvollziehbar und begründet sein. Es enthält nur Informationen, keine physischen Objekte, und ist damit der Speicher der gesicherten Erkenntnisse und Planung der Produktentstehung.“ (Meboldt, 2009, S.158)

Definition 6: Handlungssystem

„Handlungssysteme sind sozio-technische Systeme, die strukturierte und vernetzte Aktivitäten für die Transformationen zwischen dem Ziel- und Objektsystem durchführen.“ (Meboldt, 2009, S.159)

Definition 7: Objektsystem

„Objektsysteme sind Artefakte, also materielle und immaterielle Ergebnisse des Handlungssystems. Der Zweck eines Objektsystems ist im korrespondierenden Zielsystem beschrieben. In der Produktentstehung muss zu jedem Objekt- ein dazugehöriges Zielsystem existieren.“ (Meboldt, 2009, S.159)

Zur Unterstützung der Produktentstehung existiert eine Vielzahl an Methoden und Prozessen, die in Abschnitt 2.2 in Auszügen beschrieben werden. Da neben der projektspezifischen Konstellation des Handlungssystems sowohl die Zielsystem- als auch Objektsystems synthese basierend auf der Nutzung von Mustern und Referenzen erfolgt⁵ (Albers, Hirschter et al., 2020; Albers, Rapp, Peglow et al., 2019) wird im folgenden Abschnitt ein Modell vorgestellt, das diesen Sachverhalt abbildet.

2.1.3 Das Modell der PGE – Produktgenerationsentwicklung

Der stetige Wettbewerb um die Befriedigung von Kundenbedarfen und damit verbundenen Marktanteile führt zu einem unweigerlichen technologischen Fortschritt (Foster, 1986; Schumpeter, 1939). Nach der *Kano-Theorie der Kundenzufriedenheit* (Kano, 1968) lässt sich beobachten, dass Produktmerkmale mit der Zeit eine zunehmend geringere Kundenbegeisterung aufgrund sich einstellender Gewöhnungseffekte auslösen (Hölzing, 2008, 106ff.). Hierdurch flachen Verkaufszahlen von Produktgenerationen ab, was zumeist in einer Ablösung der Generation durch eine Nächste mündet (siehe Abbildung 2.4 links) (Wesner, 1977). In Anbetracht dessen entwickeln Unternehmen Technologien weiter, um durch kontinuierlich steigende Performance Kundenbegeisterung zu erzeugen und diese somit zum Kauf zu bewegen. Dies führt nach dem Konzept der S-Kurven zu einer kontinuierlichen Performance-Steigerung einer Technologie, bis diese eine technische Leistungsgrenze erreicht (siehe Abbildung 2.4 rechts). (Foster, 1986)

Klassische Modelle, wie das *Innovation Model* nach Henderson und Clark (1990) oder die *Konstruktionsmethodik* nach PAHL ET AL. (2007) bilden lediglich Entwicklungsvorhaben ab, die nach dem S-Kurven-Konzept im Bereich des Technologiesprungs oder der inkrementellen Performanceverbesserung liegen (Albers, Rapp et al., 2017). Der Großteil von Entwicklungsvorhaben lässt sich demnach mit diesen Theorien nicht beschreiben (Albers et al., 2015a).

⁵ Jedoch stets den Regeln des ZHO-Modells folgend, also über das Handlungssystem des jeweiligen Produktentstehungsprojekts

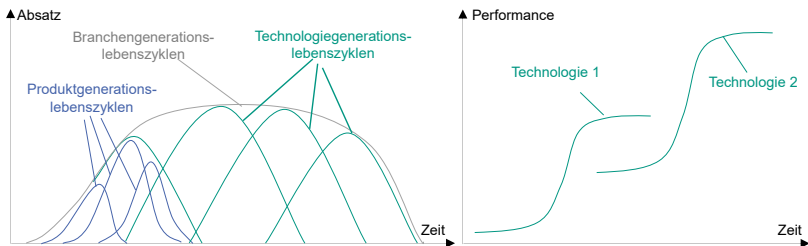


Abbildung 2.4: Links: Modell der Produkt-, Technologie- und Branchengenerationslebenszyklen nach WESNER (1977). Rechts: Das S-Kurven-Konzept des strategischen Innovationsmanagements nach FOSTER (1986). Abbildung nach Albers, Bursac und Rapp (2016) übersetzt nach Albers et al. (2015b)

Dieses Potential lässt sich heben, indem der Beschreibung der Produktentwicklung das Modell der PGE – Produktgenerationsentwicklung nach ALBERS (2015a) zu- grunde gelegt wird. Mit diesem Modell lässt sich die gesamte Breite an Vorhaben zur Entwicklung technischer Systeme abbilden. Im Wesentlichen basiert das Modell der PGE – Produktgenerationsentwicklung nach ALBERS auf zwei zentralen Hypothesen, die initial von ALBERS ET AL. (2015b) formuliert wurden und durch ALBERS, RAPP, SPADINGER ET AL. (2019) um das Modellelement des Referenzsystems erweitert wurden. Die resultierenden Grundhypothesen sind:

- Jede Entwicklung eines Produkts basiert auf einem Referenzsystem, das verschiedene Referenzsystemelemente beinhaltet. Referenzsystemelemente können u.a. bestehenden Produktgenerationen verschiedener Branchen am Markt, Vorgängerprodukten, eingestellten Entwicklungsvorhaben sowie Forscherkenntnissen entnommen werden.
- Durch die Aktivitäten Übernahme-, Ausprägungs- und Prinzipvariation der Referenzsystemelemente werden die Teilsysteme des neuen technischen Systems entwickelt.

Der Umgang mit den Hypothesen und den Modellelementen ist in Abbildung 2.5 visualisiert. Dabei ist das Referenzsystem nach ALBERS, RAPP, SPADINGER ET AL. (2019) wie folgt definiert:

Definition 8: Referenzsystem

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

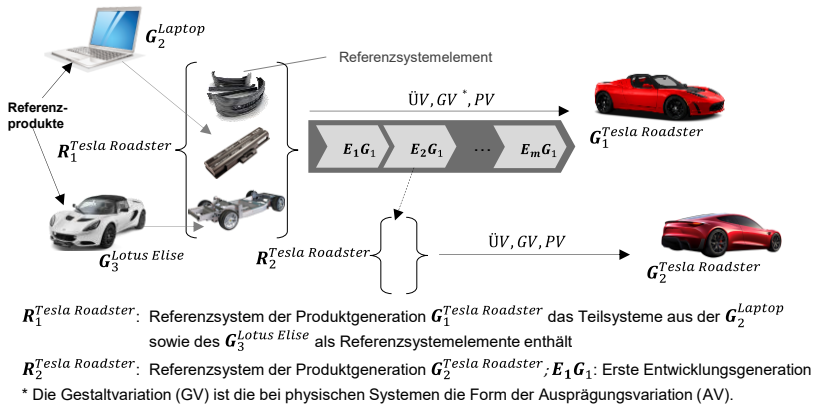


Abbildung 2.5: Entwicklung zweier Generationen basierend auf Referenzen, die jeweils in einem Referenzsystem zusammengefasst sind. Eigene Darstellung in Anlehnung an Albers, Rapp, Spadinger et al. (2019)

Durch mathematische Zusammenhänge basierend auf der Klassifizierung der Teilsysteme einer neuen Produktgeneration in die jeweiligen Variationsarten lassen sich technische Systeme hinsichtlich ihres Neuentwicklungsanteils unterscheiden (Albers et al., 2015a). Dabei lässt sich beobachten, dass Entwicklungsrisiken tendenziell höher sind, je weniger Referenzsystemelement-bezogenes Wissen im Entwicklungsteam vorliegt. Außerdem gehen mit Prinzipvariationen tendenziell höhere Entwicklungsrisiken einher als mit Übernahmevariationen. Jedoch ist unabhängig von der Variationsart stets Entwicklungsrisiko vorhanden. (Albers, Rapp et al., 2017) Einen Sonderfall im Modell der PGE/SGE stellen Neuentwicklungen ohne Architekturvorgänger dar. Diese werden als G1-Entwicklung bezeichnet. (Albers, Ebertz et al., 2020)

Diese Tendenzen können gepaart mit einem Verständnis der Entwicklung von Produktgenerationen in Entwicklungsgenerationen sowie mit einem Bezug von Referenzsystemelementen zu Referenzprozesselementen dazu genutzt werden, Entwicklungsprozesse iterativ und auf Basis von Mustererkennung zu gestalten (Albers, Rapp, Peglow et al., 2019). Hierdurch können beispielsweise Planungsaktivitäten robuster gestaltet werden (Albers, Heimicke, Spadinger et al., 2019a).

Zur Beschreibung der Synthese beliebiger Systeme – beispielsweise soziotechnischer Systeme – überträgt Albers die Zusammenhänge aus dem Modell der PGE in das Modell der SGE – Systemgenerationsentwicklung (Albers, Kürten et al., 2022). In Bezug auf das ZHO-Modell (Abschnitt 2.1.2) lassen sich alle grundlegenden Synthese- und Analyseaktivitäten im Modell durch produktbezogenes Wissen im Modell der PGE – Produktgenerationsentwicklung nach Albers unterstützen. Die Iterationszyklen im ZHO-Modell können zudem auf das Entwickeln in Entwicklungsgenerationen übertragen werden. Dieses Verständnis wird im weiteren Verlauf der Forschungsarbeit dazu genutzt, um agile Entwicklung zu beschreiben. Im folgenden Abschnitt werden Modelle vorgestellt, um den Kontext der Produktentstehung zu beschreiben, um hierdurch das Handlungssystem hinsichtlich der Ausgestaltung zur Förderung agiler Vorgehensweisen weiterzuentwickeln.

2.1.4 Der Kontext der Produktentstehung und sein Einfluss auf den Produktentstehungsprozess

Nach ALBERS (2010) ist jedes Entwicklungsvorhaben einzigartig und individuell. Nicht zuletzt liegt dies in den großen Unterschieden des jeweiligen Produktentstehungskontexts verschiedener Unternehmen begründet. Allerdings lassen sich über verschiedene Produktentstehungsvorhaben hinweg wiederkehrende Elemente zur Beschreibung der Produktentstehungsprozesse (R. P. Smith & Morrow, 1999) sowie der verschiedenen Konstellationen des jeweiligen Handlungssystems und seiner Umgebung identifizieren (Albers et al., 2010b). So lassen sich beispielsweise unterschiedliche Planungsebenen in Produktentstehungsprojekten oder wiederkehrende Aktivitäten definieren, die wiederum zur Modellierung und prospektiven Planung verschiedener Produktentstehungsvorhaben genutzt werden können (Albers et al., 2010b; Wynn & Clarkson, 2018). Dies resultierte in einer Vielzahl an Vorgehensmodellen, die Produktentstehungsvorhaben in unterschiedlichen Kontexten unterstützen sollen⁶. Die Konstellation der Faktoren, die einen bestimmten Kontext definieren, hat unmittelbaren Einfluss auf die Art und Weise, wie

⁶ In Abschnitt 2.2 werden ausgewählte Vorgehensmodelle im Detail vorgestellt.

Produktentstehungsaktivitäten in diesem Kontext ausgeübt werden können und damit dementsprechend unmittelbar auf die Qualität der Entwicklungsergebnisse (VDI 2221:2019). HALES UND GOOCH (2004) schlagen in ihrem *Task-Modell* die Einteilung des Produktentwicklungskontexts in verschiedene Kontextebenen vor, die sowohl innerhalb als auch außerhalb des Unternehmens liegen (siehe Abbildung 2.6). Dieser Vorschlag wurde in der neuen VDI/2221:2019 aufgegriffen und den Kontextebenen basierend auf GERICKE ET AL. (2013) verschiedene Handlungsfelder zur Konkretisierung sowie Kontextfaktoren zur Beschreibung individueller Kontextkonstellationen zugeordnet⁷.

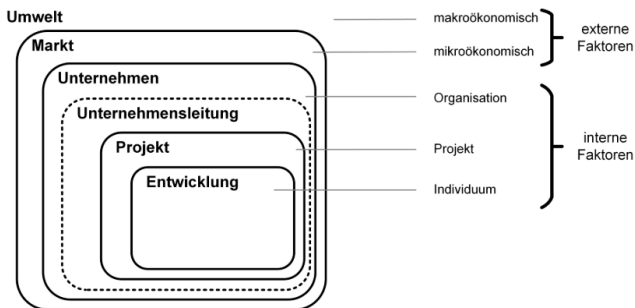


Abbildung 2.6: Einteilung des Kontexts der Produktentwicklung in Kontextebenen (Hales & Gooch, 2004).Abbildung nach VDI 2221:2019 Blatt 2

So wird beispielsweise die Kontextebene *Projekt* durch die Handlungsfelder *Innovationswesen*, *Projektmanagement*, *Produktentwicklungsteam*, *Erwartungen an Entwicklungsergebnisse*, *Projektumfeld*, *Entwicklungsauftrag*, *Einsatz von Methoden und Tools* sowie *Fertigungstechnologie* konkretisiert. In der weiteren Detaillierungsebene wird beispielsweise das Handlungsfeld *Erwartungen an Entwicklungsergebnisse* durch die Kontextfaktoren *Produktivität*, *Erfolgsdruck*, *Fehlerkosten* und *Qualität der Arbeitsergebnisse* beschrieben. (Gericke et al., 2013 übersetzt nach VDI 2221:2019 Blatt 2) Um Handlungssysteme in Produktentstehungsvorhaben auszurichten und zu unterstützen, bedarf es der Eingrenzung der jeweils relevanten Handlungsfelder und der Identifikation der Ausprägungen der einzelnen Kontextfaktoren. Zur Anwendungsfall-spezifischen Anpassung der relevanten Kontextfaktoren

⁷ Die Beschreibung aller Handlungsfelder sowie Kontextfaktoren findet sich in VDI 2221:2019 Blatt 2, weswegen an dieser Stelle auf eine vollständige Nennung verzichtet wird.

können daraufhin geeignete Entwicklungs- und Kollaborationsmethoden ausgewählt und in das Handlungssystem eingebracht werden. (Albers et al., 2014; Gericke et al., 2017; Rudert & Trumpfheller, 2015)

Die ideale Ausrichtung des Handlungssystems beispielsweise durch die Wahl eines geeigneten Prozessmodells ist jedoch kein triviales Unterfangen. Die Anforderungen aus dem Entwicklungskontext unterliegen einer stetigen Dynamik, die sich auf Änderungen in Märkten, Unternehmensbeziehungen, Technologien sowie vielen anderen Bereichen zurückführen lassen. (Gunasekaran, 1999) Bedingt durch Trends wie z. B. *Mass Customization* oder *Connectivity* verändern sich Wertschöpfungsnetzwerke und werden globaler, vernetzter, komplexer und aus Sicht des Handlungssystems dynamischer (Gericke & Blessing, 2011). Auch gesetzlich regulierte Themen wie z. B. klimarelevante Richtlinien oder das politische Handeln im Rahmen der Covid-19-Pandemie (z.B. Lockdown) führen zu Instabilitäten in der Wertschöpfung. Die aus den Unsicherheiten in Märkten und Wertschöpfungsnetzwerken resultierende Dynamik erfordert von Organisationen ein hohes Maß an Flexibilität in den Produktentstehungsprozessen. Dies erlaubt es Unternehmen entsprechende Anpassungen an strategisch und operativ geplanten Vorgehensweisen vorzunehmen und beispielsweise Charakteristika von Produkten frühzeitig abzusichern oder entsprechend basierend auf Erkenntnissen aus der Validierung anzupassen. (Albers, Behrendt et al., 2016; Dostert et al., 2020; Lenhardt, 2020; Schmidt & Paetzold, 2016; P. G. Smith, 2007)

Während der Produktentstehungskontext zum einen eine Flexibilität des Handlungssystems aufgrund der Dynamik verlangt, haben gewachsene Strukturen in Wertschöpfungsnetzwerken zur Etablierung von notwendigen Hierarchien und Standards geführt, die in einer Trägheit von Organisationseinheiten – eine mangelnde Adaptivität an sich verändernde Umweltbedingungen – resultieren (Hannan & Freeman, 1984). Allerdings führt ein gewisses Maß an Trägheit von Organisationen zu Stabilität und Zuverlässigkeit und damit Rechenschaftsfähigkeit (Welsch, 2010). Schuh et al. (2018) beschreiben Anforderungen aus Unternehmenssicht an Produkte, Prozesse und Personal sowie weitere Rahmenbedingungen als Ursachen für die Trägheit von Organisationseinheiten. Zudem wirken sich verschiedene Normen und Richtlinien, nach denen besonders die Automobilindustrie zertifiziert ist, die jedoch Trägheit bedingen, auf die Unternehmenskultur aus. Ein bekannter Vertreter ist die durch den VDA getragene Richtlinie *ASPICE* (VDA Verband der Automobilindustrie, 2007), die auf der internationale Organisation für Normung beruht. Sie hat erhebliche Auswirkungen auf die Gestaltung von unternehmensinternen Prozessen und Vorgehensweisen. Auch Strategien wie Standardisierung und damit verbundene Dokumentationsaufwände strukturieren und verlangsamen Produktentstehungsprozesse. (Boehm & Turner, 2005; Dybå & Dingsøyr, 2008)

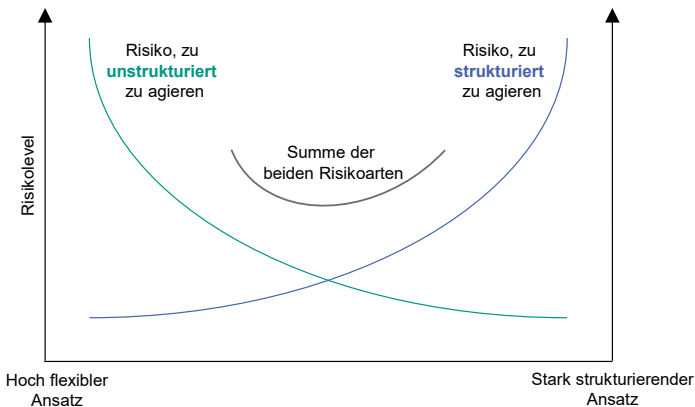


Abbildung 2.7: Ausbalancieren der Risiken, im Produktentstehungsprozess zu flexibel sowie zu strukturiert zu agieren nach P. G. SMITH(2007, S. 216).
Eigene Übersetzung.

P. G. Smith (2007) beschreibt Produktentstehung als ein Ausbalancieren von Risiken. Er beschreibt Risiken, die ein zu unstrukturiertes Vorgehen⁸ in der Produktentwicklung nach sich zieht sowie diejenigen Risiken, die ein zu strukturiertes Vorgehen⁹ im Produktentstehungsprozess nach sich ziehen kann. In einem Umfeld, in dem der Produktentstehung ein hochflexibler Ansatz unterliegt, führt ein unstrukturiertes Handeln zu einem hohen Gesamtrisiko. Ebenso definiert er den Sachverhalt bei einem zu strukturierten Vorgehen bei grundsätzlichem Befolgen eines stark strukturierenden Ansatzes. Zudem führt er an, dass beide Risikoarten koexistieren und zudem eine ideale Kombination aus einem Ansatz zur Beschreibung und Unterstützung der Produktentstehung sowie dem dazugehörigen Handeln existiert (siehe Abbildung 2.7). (P. G. Smith, 2007, 216ff.)

Zum Umgang mit gegenwärtigen und zukünftigen Risiken eignet sich die Realisierung der Produktentstehung nach dem ganzheitlichen Entwicklungsparadigma

⁸ Hier nennt Smith z. B. den unstrukturierten Umgang mit sicherheitsrelevanten Teilsystemen und daraus resultierende Gefahren in der Produktnutzung.

⁹ An dieser Stelle nennt Smith z. B. die mangelnde Reaktionsfähigkeit auf sich ändernde Kundenanforderungen und daraus resultierende wirtschaftliche Nachteile.

ASE – *Advanced Systems Engineering*, das im folgenden Abschnitt beschrieben wird.

2.1.5 ASE – Advanced Systems Engineering

Die zukünftig notwendigen Kompetenzen zur Erstellung von hochvernetzten Systemen führt bereits heute zu einer Vielfalt an Kompetenzprofilen, die bereits in der (universitären) Ausbildung von Produktentwicklern berücksichtigt werden müssen (Albers et al., 2012). Hierdurch kommt es zu einer verstärkten Interaktion zwischen an der Produktentstehung beteiligten Personen verschiedener Domänen (Dumitrescu et al., 2021). Da der domänenspezifischen Entwicklung jeweils domänenspezifische Referenzmodelle bezüglich der Gestaltung von Systemen und Produktentstehungsprozessen unterliegen, existieren damit verbundene gravierende Unterschiede in den mentalen Modellen (Dutke, 1994; Meboldt, 2009, 201f.). In der Interaktion zwischen Personen aus verschiedenen Domänen entstehen daher oftmals Missverständnisse, was aktuelle und zukünftige Handlungssysteme vor Herausforderungen stellt (Albers et al., 2010b; Delligatti, 2014).

Um mit diesen Herausforderungen umzugehen und um den Umgang mit der Systemkomplexität zu unterstützen, entwickeln Unternehmen mechatronische Systeme zunehmend nach dem Entwicklungsparadigma des Systems Engineerings (SE)¹⁰. Systems Engineering wird verstanden als interdisziplinärer Ansatz, um (technische) Systeme zu entwickeln. (Walden et al., 2015) Die zentrale Norm ISO/IEC/IEEE und das *Systems Engineering Handbook* der INCOSE (2015) stellen Organisationseinheiten eine Reihe an Prozessen, Aktivitäten, Methoden und Tools zur Verfügung, um eine durchgängige Modellierung des zu entwickelnden Systems über alle Lebenszyklusphasen hinweg in Verknüpfung mit den jeweiligen umsetzenden Ressourcen des Handlungssystems zu ermöglichen. Durch eine abstrakte Systemmodellierung können so insbesondere das Anforderungsmanagement und die (funktionale) Systementwicklung koordiniert werden. (INCOSE, 2015) Durch den großen Anteil an Entwicklungstätigkeiten auf Basis von Computer-interpretierbaren Modellen gewinnt der Ansatz des *MBSE – Model Based Systems Engineering* zunehmend an Bedeutung. Hierbei werden die Prozesse, Methoden und Tools des Systems Engineerings über die verschiedenen Systemlebenszyklusphasen durch die Nutzung von Modellen angereichert. (Walden et al., 2015) Hierdurch lassen sich

¹⁰ Hierbei ist anzumerken, dass die Durchdringung von SE in die Entwicklungsprozesse der Unternehmen stark branchen-abhängig ist. Weit verbreitet ist es in der Branche seiner Entstehung (Luft- und Raumfahrt).

insbesondere Validierungsaktivitäten über den gesamten Produktentstehungsprozess hinweg unterstützen. (Mandel et al., 2021)

Da Systeme als Folge digitaler Technologien und vernetzenden Funktionen in ihrer Nutzungsphase zunehmend automatisiert mit anderen Systemen sowie ihrer Umgebung interagieren, wird die Entwicklung von technischen Systemen vermehrt als Entwicklung von Systemen im sozitechnischen System of Systems-Kontext (Keating et al., 2003) verstanden. Diese Begebenheiten aus der Produktnutzungsphase verstärken die Unsicherheiten im Entwicklungsprozess im Bereich der Ziele und Anforderungen, die die spätere Systemumgebung an das zu entwickelnde System stellt (Keating et al., 2003). In Anlehnung an die ISO/IEC/IEEE 21839:2019 definieren Albers, Mandel et al. (2018) ein System of Systems wie folgt:

Definition 9: System of Systems

„Ein System of Systems (SoS) ist ein System, bestehend aus einer Menge interagierender [und jeweils eigenständiger] Systeme [...]“ (Albers, Mandel, Yan und Behrendt (2018) übersetzt nach IPEK Glossar)

Demnach sind die wichtigsten Charakteristika von Systems of Systems (Albers, Mandel et al., 2018):

- *„Jedes System kann unabhängig agieren und einen eigenen Zweck besitzen.“*
- *„Die individuellen Systeme der Menge werden unabhängig organisiert, um ihre Zwecke zu erfüllen.“*
- *„Die Systemkombination liefert Ergebnisse, die von einzelnen Systemen nicht erreicht werden können.“¹¹*

Um mit der hieraus entstehenden Komplexität bereits während der Entstehungsphase von technischen Systemen adäquat umzugehen, steigt der Bedarf nach einer erweiterten Unterstützung durch digitalisierte Methoden und Tools beispielsweise unter Einbezug von Technologien, die auf Künstlicher Intelligenz basieren. Auch eine stärker werdende Menschorientierung wird in der Produktentstehung forciert. Diese Aspekte werden ganzheitlich im Paradigma des ASE – *Advanced Systems Engineering* zusammengefasst. Um, zurückgehend auf die Formulierung des Bedarfs, das Engineering angesichts zunehmender Informations- und Kommunikationstechnologien im Rahmen der Industrie 4.0-Initiative weiterzuentwickeln (Anderl

¹¹ Wörtlich aus dem IPEK-Glossar zitiert.

et al., 2012), schlagen Albers und Lohmeyer ebenfalls 2012 die menschorientierte Gestaltung des Technologie- und Modell-gestützten Systems Engineerings als Advanced Systems Engineering vor. In der Studie *Engineering in Deutschland*¹² (Dumitrescu et al., 2021) wird Advanced Systems Engineering definiert als:

Definition 10: ASE – Advanced Systems Engineering

„[...] *Leitbild für die erfolgreiche Gestaltung von innovativen Marktleistungen und deren Entstehung. [Es] berücksichtigt insbesondere die Auswirkungen der zunehmenden Digitalisierung, Interdisziplinarität und Vernetzung zur Beherrschung der technischen und organisatorischen Komplexität im zukünftigen Engineering [und] steht damit für eine neue Perspektive in der Planung, der Entwicklung und dem Betrieb von komplexen Systemen.*“

Das Paradigma versteht technische Systeme als hybride Leistungsbündel (Kombination aus technischem System, Dienstleistung und Geschäftsmodell), die stark vernetzt und autonom mit ihrer Umgebung interagieren (*Advanced Systems*). Diese werden durch Ansätze des *Systems Engineerings* ganzheitlich und durchgängig im soziotechnischen System der Produktentstehung modelliert. Dabei werden die Akteure im Wertschöpfungssystem durch menschenzentrierte Ansätze des modernen Engineerings (z. B. bzgl. Kreativität, Agilität und Digitalisierung) situations- und bedarfsgerecht unterstützt (*Advanced Engineering*). (Dumitrescu et al., 2021)

Die Ausgestaltung von Modellen und Produktentstehungsansätzen zur menschenzentrierten Gestaltung der agilen Systemgenerationsentwicklung ist derzeit Gegenstand einer Vielzahl an Forschungsvorhaben. Die vorliegende Forschungsarbeit leistet hierbei unter anderem einen Beitrag zum BMBF-geförderten Verbundprojekt *MoSyS- Menschorientierte Gestaltung komplexer System of Systems*.

2.1.6 Zwischenfazit zum Prozess der Produktentstehung

Im Prozess der Produktentstehung bietet die frühe und kontinuierliche Einbeziehung von Kundinnen- und Kunden-, Anwendenden- und Anbietendennutzen über das Produktprofil die Chance, eine durchgängige Validierung gegenüber aller im zukünftigen Anwendungsfall des Systems beteiligten Stakeholdern sicherzustellen (siehe Abschnitt 2.1.1). Dabei lässt sich der Produktentstehungsprozess abstrahiert als

¹² Entstanden im Rahmen der BMBF-Fördermaßnahme *Beherrschung der Komplexität soziotechnischer Systeme – Ein Beitrag zum Advanced Systems Engineering für die Wertschöpfung von morgen (PDA_ASE)*

kontinuierliche Iterationen aus Synthese- und Analyseaktivitäten darstellen, mittels derer ein Handlungssystem die Ko-Evolution eines Ziel- und eines Objektsystems vollzieht (siehe Abschnitt 2.1.2). Dabei stehen der Umgang mit Unsicherheiten sowie die gezielte Generierung und Verdichtung von Wissen im Fokus. Hierbei unterstützt ein Verständnis der Produktentstehung nach dem Modell der PGE – Produktgenerationsentwicklung, um in Entwicklungsprojekten mit bestehenden und potenziellen Entwicklungsrisiken adäquat umgehen zu können und für die Produktentstehung wertvolles Produkt- und Prozesswissen dem Verständnis des Referenzsystems folgend situations- und bedarfsgerecht einzusetzen (siehe Abschnitt 2.1.3).

In der Planung, Durchführung und Validierung von Entwicklungsaktivitäten sowie den erzeugten Ergebnissen, werden Methoden oder übergeordnete Ansätze, die das Handlungssystem strukturieren, eingesetzt, um Entwickler in ihren Tätigkeiten zu unterstützen. Dabei stellt die Individualität eines jeden Produktentstehungskontexts die Handlungssysteme, die bestehende Ansätze verwenden, vor die Herausforderung, Entwickelnde auch bei gegenläufigen Anforderungen an bestimmte Handlungsfelder im Prozess zu unterstützen. Dieser Umstand resultiert aus der jeweiligen projektspezifischen Ausprägung und Konstellation der Kontextfaktoren, die einen jeden Produktentstehungskontext beschreiben. Daher bedarf es der situations- und bedarfsabhängigen Unterstützung von Handlungssystemen in der Produktentstehung (siehe Abschnitt 2.1.4). Angesichts der Entwicklungen technischer Systeme hin zu hochvernetzten autonomen Systemen als Teil eines übergeordneten System of Systems wird mit dem ASE – *Advanced Systems Engineering* ein Leitbild für die ganzheitliche Koordinierung und Unterstützung von Handlungssystemen in der Wertschöpfung generiert (siehe Abschnitt 2.1.5).

Agile Ansätze zur Flexibilisierung der Produktentstehung und Steigerung der Reaktionsfähigkeit von Handlungssystemen werden Teil des Leitbildes sein. Gleichmaßen ist das über die Jahrzehnte in den Organisationen entstandene Produkt- und Prozesswissen, das teilweise stark formalisiert in Vorgehensmodelle, Richtlinien oder Normen und Standards übernommen wurde, ein bereits in der Vergangenheit zentraler und auch zukünftig hochrelevanter Erfolgsfaktor. In der Harmonisierung agiler und etablierter Ansätze besteht insbesondere im Umfeld der Mechatroniksystementwicklung Forschungsbedarf. Hier leistet die vorliegende Forschungsarbeit einen Beitrag zur Auswahl, Konzeptionierung und Einführung situations- und bedarfsgerechter Prozesslösungen. Diese kombinieren agile und strukturierende Prozesselemente und etablieren Agilität damit nachhaltig in den Handlungssystemen. Daher folgt im zweiten Teil des Kapitels die Beschreibung bestehender agiler und traditioneller Prozessmodelle und Entwicklungsansätze.

2.2 Unterstützung der Produktentstehung

Zur Befriedigung der in Abschnitt 2.1 beschriebenen Anforderungen heutiger und zukünftiger Produktentstehung bedienen sich Handlungssysteme der Unterstützung durch Prozessmodelle und Frameworks. Dabei eignen sich jedoch nicht alle Modelle für jeden Anwendungsfall, weshalb in diesem Abschnitt zunächst eine allgemeine Übersicht über Ansätze zur Beschreibung, Planung und Unterstützung von Produktentstehungsprozessen gegeben wird und die Unterschiede agiler und plangetriebener Ansätze beschrieben werden (siehe Abschnitt 2.2.1). In Abschnitt 2.2.2 werden dann agile und in Abschnitt 2.2.3 plangetriebene Ansätze sowie jeweils grundsätzliche Wirkmechanismen vorgestellt. Daraufhin wird in Abschnitt 2.2.4 ein Metamodell zur Beschreibung der integrierten Entwicklung mechatronischer Systeme in Generationen vorgestellt. In Abschnitt 2.2.5 folgt die Beschreibung skalierter agiler Rahmenwerke und hybrider Ansätze. Der aktuelle Stand agiler Entwicklung in der Praxis wird in Abschnitt 2.2.6 mit dem Fokus auf resultierende Herausforderungen dargelegt. Zuletzt wird der Ansatz des ASD – Agile Systems Design vorgestellt, der agile und plangetriebene Ansätze kombiniert (siehe Abschnitt 2.2.7). Auch Abschnitt 2.2 schließt mit einem Zwischenfazit (siehe Abschnitt 2.2.8).

2.2.1 Ausgewählte Ansätze zur Unterstützung der Produktentstehung

Bereits 2009 beschreibt Albers in Meboldt (2009), dass neben der Produktkomplexität auch die Komplexität im Prozess der Produktentstehung beispielsweise als Folge der wachsenden Anzahl an Disziplinen, die an diesem Prozess beteiligt sind, steigt (vgl. zudem Dumitrescu et al. (2021)). Um diese komplexen Prozesse zu beschreiben, analysieren, strukturieren und verbessern, ist eine große Anzahl an Prozessmodellen, die sich nach unterschiedlichen Dimensionen vergleichen lassen, entstanden¹³ (VDI 2221:2019 Blatt 1; Wynn & Clarkson, 2018). Beispielsweise unterscheiden sich die Prozessmodelle nach der Projektebene, auf der diese unterstützen (beschrieben als Mikro – Meso – Makro (Albers et al., 2010a; Lindemann, 2016; Wynn & Clarkson, 2018) oder nach zeitlichem Horizont als operativ, taktisch und strategisch (Schweitzer, 2001, 33f.)). In Abbildung 2.8 sind schematisch verschiedene Modelle zur Unterstützung der Aktivitäten auf den jeweiligen Projektebenen dargestellt. Z. B. werden in der langfristigen Planung auf Gesamtprojektebene

¹³ Die große Anzahl der Prozessmodelle lässt sich unter anderem auf die unterschiedlichen Zwecke der Modelle zurückführen, die aufgrund der in Abschnitt 2.1.4 beschriebenen Individualität von Vorhaben resultiert.

Meilensteine definiert, zugleich jedoch in der Modellierung von Aktivitäten ein niedriger Auflösungsgrad genutzt. Die in der Mikrologik genutzten elementaren Handlungsabläufe lassen sich hingegen feingranular über spezifische Synthese- und Analyseabfolgen beschreiben¹⁴, sind zugleich jedoch ungeeignet für die Modellierung gesamter Projektvorhaben (Lindemann, 2009, 38ff.).

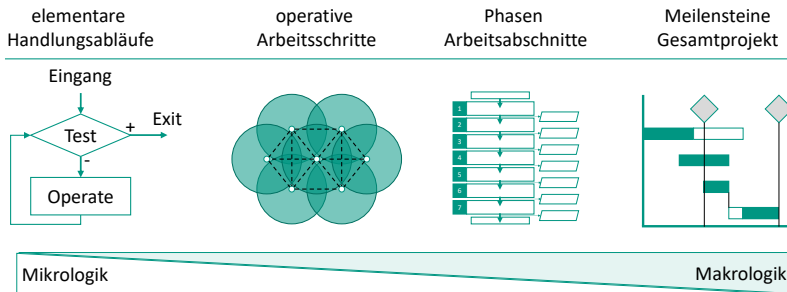


Abbildung 2.8: Auflösungsgrade im Produktentwicklungsprozess (Lindemann, 2009, S. 38). Abbildung nach ALBERS, HEIMICKE, SPADINGER ET AL. (2019b)

Die Unterstützung der Planung und Durchführung von Produktentstehungsprojekten erfolgt auf Basis von Vorgehensmodellen, die im spezifischen Kontext dem Prozess zu Grunde liegen (Ilin et al., 2018). Hierbei ist es stark von der grundlegenden Produktentstehungsphilosophie und der damit verbundenen Art des genutzten Modells abhängig (Atzberger, Wallisch et al., 2020), in welchem Turnus und Detaillierungsgrad die Planung von Zielen und deren Erreichung durch spezifische Aktivitäten und Subaktivitäten auf den verschiedenen Projektebenen erfolgen kann (Boehm & Turner, 2003b). Wilmsen, Groschopf und Albers (2019) zeigen beispielsweise in einer Analyse verschiedener Prozessmodelle, dass die im jeweiligen Modell enthaltene Zahl und der Detaillierungsgrad der zur Beschreibung und damit auch Planung des Produktentstehungsprozesses bereitgestellten Prozessschritte stark divergiert.

Über die Zeit hat sich eine große Anzahl an Ansätzen gebildet, die Entwickler im Produktentstehungsprozess unterstützen sollen. Dabei folgen diese in ihrer Ontologie und den Abhängigkeiten zwischen den enthaltenen Regeln einer übergeordneten Produktentstehungsphilosophie, die zudem unmittelbare Auswirkungen auf den Detailgrad und Formalisierungsgrad der genutzten Methoden und Werkzeuge haben. Insbesondere sind in der Mechatroniksystementwicklung die Philosophie der

¹⁴ Diese laufen innerhalb von weniger Zehntelsekunden im Gehirn ab.

plangetriebenen Produktentstehung sowie zunehmend auch der agilen Produktentstehung relevant. (Atzberger, Wallisch et al., 2020)

Während plangetriebene Ansätze sich zur Langzeitplanung auf strategischer Ebene von Produktentstehungsprojekten eignen, jedoch mangelnde Reaktionsfähigkeit gegenüber Planänderungen in der Koordination der operativen Tätigkeiten aufweisen, unterstützen agile Ansätze die Planung und Koordination von Entwicklungsaktivitäten auf operativer Ebene, weisen jedoch Schwächen in der langfristigen, strategischen Projektplanung auf (Boehm & Turner, 2003b; Petersen & Wohlin, 2010).

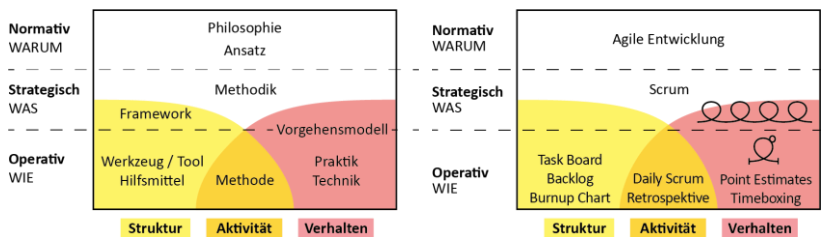


Abbildung 2.9: Schema zur Klassifikation von Produktentstehungsansätzen (links) angewandt auf das Framework Scrum (siehe 2.2.3). Abbildung nach ATZBERGER, WALLISCH ET AL. (2020) Eigene Übersetzung

Um die verschiedenen Ansätze in der Produktentstehung miteinander zu vergleichen, haben Atzberger, Wallisch et al. (2020) eine Taxonomie zur Einordnung verschiedener Produktentstehungsansätze generiert (siehe Abbildung 2.9). Diese ermöglicht es, spezifische Prozesse, die teils implizit verschiedenen Produktentstehungskontexten unterliegen, zu identifizieren und auf der Basis auf gezielte Prozessverbesserungen hinzuwirken (Atzberger, Wallisch et al., 2020).

Die im weiteren Verlauf der Arbeit vorgestellten Modelle und Ansätze lassen sich Tabelle 1 entnehmen.

Tabelle 1: Übersicht der im weiteren Verlauf der Arbeit vorgestellten Ansätze

Vorgestellte plan-getriebene Ansätze Abschnitt 2.2.2	Vorgestellte agile Ansätze Abschnitt 2.2.3	Vorgestellte Meta-Modelle Abschnitt 2.2.4	Vorgestellte skalierte und hybride Ansätze Abschnitt 2.2.5
Entwicklungs- und Konstruktionsprozess nach Pahl & Beitz	Kanban System nach Ohno	iPeM – integriertes Produktentstehungsmodell nach Albers	Scrum of Scrums nach Sutherland
Produktentstehungsprozess für komplexe Systeme nach Ulrich & Eppinger			Scaled Agile Framework (SAFe)
Entwicklungsmethodik für mechatronische Systeme VDI 2206	Scrum nach Schwaber & Sutherland		Agile-Stage-Gate Hybrid nach Cooper & Sommer
	Design Thinking nach Plattner et al.		Agile-waterfall hybrid nach Schuh et al.
Stage-Gate®-Prozess nach Cooper		Towards a Method for Agile Development in Mechatronics nach Schmidt	
		Approach for goal-oriented and Context-specific Agile Process Improvement nach Dieboldt	
		Modell der Produktentwicklung zur Entwicklung technischer Produkte und Systeme VDI 2221	efiS-Framework nach Poth et al.
			InnoFox nach Reiß.

2.2.2 Ausgewählte plangetriebene Ansätze

In der Entwicklung mechatronischer Systeme sind die plangetriebenen Ansätze weit verbreitet¹⁵. Dies lässt sich unter anderem darauf zurückführen, dass in den Entstehungsprozessen mechatronischer Systeme eine Vielzahl an Normen, Standards

¹⁵ AVANTGARDE Experts (2020) und Stage-Gate International (2019) geben einen Hinweis auf die weite Verbreitung plan-getriebener Ansätze.

und Richtlinien entstanden sind, die in Projekten befolgt werden. Diese geben in der Regel fest vorgeschriebene Abläufe von durchzuführenden Aktivitäten bei zuvor definierten Reifegraden des entwickelten Systems vor und haben hierdurch maßgeblichen Einfluss auf die Produktentstehungskultur. (siehe 2.1.4 und Dybå und Dingsøyr (2008)) In plangetriebenen Ansätzen werden Projekte nach klassischem Projektmanagement geplant, koordiniert und reguliert (Kusay-Merkle, 2018). Die plan-getriebenen Ansätze haben folgende Eigenschaften gemein (Kusay-Merkle, 2018; Petersen & Wohlin, 2010; Trepper, 2012):

- Spätere Produktfunktionen/Eigenschaften sind zu Projektbeginn definiert.
- Es muss ein Projektplan von Projektstart bis -Ende zu Beginn erstellt werden.
- Sehr detailliertes Spezifizieren der Anforderungen bei äußerst strengen Änderungsverfahren
- Die Konstruktion erfolgt erst in der Konstruktionsphase.
- Ein Test auf Gesamtsystemebene erfolgt lediglich am Projektende.
- Qualitätssicherung erfolgt zumeist auf formaler Ebene.

Im klassischen Projektmanagement liegt die Hauptverantwortlichkeit darin, die Größen des magischen Dreiecks (Zeit, Kosten Qualität (Atkinson, 1999)) zu optimieren. Zu Projektbeginn wird das Projektergebnis festgelegt, Ressourcen geplant und Vorgänge definiert sowie schriftlich dokumentiert. (Kusay-Merkle, 2018; Trepper, 2012) Die träge Reaktion auf geänderte Kundenwünsche, späte Validierungsaktivitäten und zu umfangreiche und dadurch als obsolet wahrgenommene Planung sind zentrale Kritikpunkte an plangetriebenen Vorgehensweisen (Petersen & Wohlin, 2010). Allerdings haben plangetriebene Projektmanagementansätze ebenso wie die agilen ihre Daseinsberechtigung. Zentral hängt dies vom Einsatzkontext ab, für den das jeweilige Modell geeignet sein sollte. (Kusay-Merkle, 2018) In einem stabilen Umfeld mit langen Produktlebenszyklen und vielen Regularien sowie bei der Entwicklung unter Einbezug einer großen Anzahl an Beteiligten eignen sich plangetriebene Ansätze zur Koordination dieser Vorhaben. (Boehm & Turner, 2003a) Im Folgenden werden ausgewählte plangetriebene Ansätze vorgestellt.

Einen der ersten phasenorientierten Produktentstehungsansätze lieferten Pahl und Beitz (1977) mit ihrem **Entwicklungs- und Konstruktionsprozess**, der sich durch die kontinuierliche Neuauflage ihres Werks *Konstruktionslehre*, das anwendungsorientierte Methoden und Anleitungen enthält, weiterentwickelt und konkretisiert (Braun, 2013; Reiß, 2018). Im Ursprungswerk 1977 formulieren sie vier Phasen, in die sie den Produktentstehungsprozess eingliedern – *Planung inklusive der Klärung der Aufgabenstellung, Konzipierung, Entwurf und Ausarbeitung* (vgl. Abbildung

2.10). Zwar formulieren sie den Ablauf der Phasen in seiner Beschreibung als iterativ (Feldhusen & Grote, 2013, S. 23), suggerieren jedoch durch seine Darstellung einen sequenziellen Ablauf, bei dem die Ergebnisse der einzelnen Phasen den Input für die Folgephase darstellen. Dieser Umstand sowie das klar explizierte Ziel der Aufgabenklärung in der ersten Projektphase zeigen den eindeutigen plangetriebenen Charakter (Petersen & Wohlin, 2010).

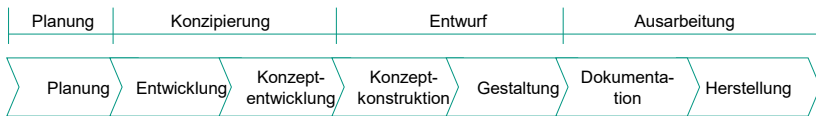


Abbildung 2.10: Ursprüngliche (oberhalb) und weiterentwickelte Phasen des Entwicklungs- und Konstruktionsprozesses nach PAHL UND BEITZ (1977).Abbildung in Anlehnung an Feldhusen und Grote (2013, S. 23)

Einen ähnlichen Charakter weist der **generische Produktentstehungsprozess** nach ULRICH UND EPPINGER (2016) auf. Sie verstehen Produktentstehungsprozesse als strukturierten *Flow* von Aktivitäten und Informationen und nicht von Phasen (Ulrich & Eppinger, 2016, 13f.). In ihrem Werk schlagen sie drei unterschiedliche Prozesstypen vor, die in ihrer Grundstruktur gleich aufgebaut sind:

- Den generischen Produktentstehungsprozess ohne Iteration
- Den spiralförmigen Produktentstehungsprozess, der eine Vielzahl an Iterationen der Aktivitätensequenz *Design-Build-Test* enthält
- Den Produktentstehungsprozess für komplexe Systeme, der parallele Sequenzen aus *Design* und *Test* enthält (siehe Abbildung 2.11)

ULRICH UND EPPINGER beschreiben insbesondere Herausforderungen mit Abhängigkeiten zwischen verschiedenen Systemebenen zunehmend komplexer werdender Systeme als Treiber für die kontinuierliche Adaption von Produktentstehungsprozessen. So schlagen sie vor, die Architektur des Gesamtsystems frühzeitig im Produktentstehungsprozess festzulegen und das Zerlegen in Teilsysteme und Komponenten als eigene Aktivität zu verstehen, die die Wechselwirkungen zwischen den unterschiedlichen Teilsystemen und Komponenten koordiniert. Die Detailkonstruktion der Komponenten lässt sich parallelisieren. Zuletzt erfolgt die Integration und Validierung der Komponenten im Gesamtsystem. (Ulrich & Eppinger, 2016, 20ff.)

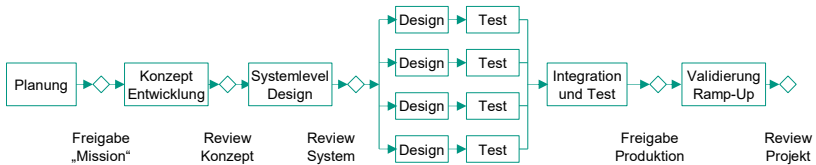


Abbildung 2.11: Produktentstehungsprozess für komplexe Systeme nach Ulrich und Eppinger (2016, S. 22). Eigene Übersetzung

Neben der zu Prozessbeginn erfolgenden und als abgeschlossen verstandenen Formulierung und Freigabe des Entwicklungsauftrags weist der Aspekt der im Prozessmodell erst spät angedeuteten Validierung auf den plangetriebenen Charakter des Modells hin (Boehm & Turner, 2003a; Petersen & Wohlin, 2010).

Ein weiteres in der Industrie sehr weit verbreitetes plangetriebenes Vorgehen in der Entwicklungspraxis ist die VDI 2206 **Entwicklung mechatronischer und cyber-physischer Systeme**. Innerhalb der Richtlinie ist das grundlegende Prinzip zur Modellierung des Produktentstehungsprozesses die Hierarchisierung und Modularisierung mechatronischer Systeme. Diese stellen nach RODDECK (1997) Systeme dar, die Technologien aus der Mechanik, der Elektronik sowie Digitalisierungstechnik enthalten und damit interdisziplinär von Entwicklern aus den Domänen Maschinenbau, Elektrotechnik und Informatik entwickelt werden. Die Richtlinie wurde im Jahr 2021 überarbeitet, um der zunehmenden Vernetzung der einzelnen Komponenten mechatronischer und cyber-physischer Systeme bereits in der Entwicklung gerecht zu werden (VDI 2206:2021).

Der Makrozyklus wird durch das V-Modell (siehe Abbildung 2.12) - das im Systems Engineering am weitesten verbreitete Modell zur Modellierung der Produktentstehung - beschrieben (Scheithauer & Forsberg, 2013). Obwohl dieses Modell keine Zeitachse enthält und damit kein Prozessmodell darstellt, enthält es Phasen, die laut der Richtlinie Anwendungsfall-spezifisch und iterativ durchlaufen werden (VDI 2206:2021). Diese sind in der Richtlinie sequenziell beschrieben und werden in der Praxis zumeist in dieser Sequenz interpretiert und lediglich einmalig durchlaufen, was zugleich als eine der größten Schwächen des Modells gesehen wird (Scheithauer & Forsberg, 2013).

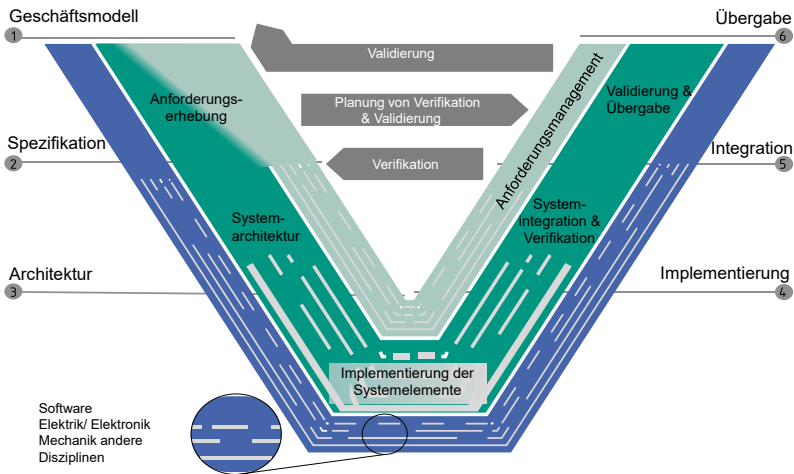


Abbildung 2.12: Makrozyklus aus der VDI 2206. Eigene Darstellung in Anlehnung an VDI 2206

Die Richtlinie beschreibt die Eigenschaftensicherung als fortlaufende Tätigkeit, die jedoch aufgrund der genannten Fehlinterpretation zu der das Modell verleitet oftmals erst zum Ende des Produktentstehungsprozesses erfolgt (Scheithauer & Forsberg, 2013). In Anlehnung an die Sammlung von BURSAC (2016, 17f.) und die Analyse nach SCHEITHAUER UND FORSBURG (2013) weist das Modell neben der beschriebenen Anfälligkeit für Fehlinterpretation folgende weitere Schwächen auf:

- Förderung des Ansatzes der Trennung von Funktion und Gestalt
- Nicht-Berücksichtigung der iterativen Erfassung und Konkretisierung von Kundinnen-, Kunden- und Anwendendenbedürfnissen
- Hang zur Validierung erst zum Ende des Produktentstehungsprozesses
- Mangelnde Konkretisierung in der Beschreibung der Architekturebenen in der Spitze des Modells sowie vager Integrationsbegriff

Der letzte in der Forschungsarbeit beschriebene Vertreter plangetriebener Ansätze ist der **Stage-Gate®-Prozess** nach COOPER (1990). Seit seiner initialen formalen

Beschreibung durch die NASA (1968), den Cooper als erste Generation bezeichnet, wurde es kontinuierliche weiterentwickelt¹⁶ (siehe Abbildung 2.13).

Die Grundidee des Stage-Gate® ist es, dass der Produktentstehungsprozess zunächst in eine geeignete Anzahl an Phasen, die mit Meilensteinen abschließen, unterteilt wird. Jede Phase enthält wiederum vorab definierte, vernetzte und parallel ablaufende Aktivitäten. An den Meilensteinen wird der jeweilige Stand der Projektergebnisse hinsichtlich zuvor definierter Qualitätskriterien analysiert und bezüglich des weiteren Vorgehens im Projektverlauf entschieden (Cooper, 1990, 1994):

- Go: Fortsetzen des Projekts mit der Folgephase
- Kill: Beenden des Projekts
- Hold: Pausieren des Projekts
- Recycle: Erneuter Durchlauf der vorhergehenden Phase

Die erste Generation des Stage-Gate®-Prozesses versteht den Produktentstehungsprozess als Zulieferer-Kunden-Beziehung, wobei jede Phase der Kunde der Vorgängerphase ist und damit alle zuvor definierten Aufgaben vor Phasenübergang abgeschlossen sein müssen (VDI 2221:2019). In der zweiten und laut MEBOLDT (2009) erfolgreichsten Generation wird der in der ersten Generation starke technische Fokus um Betrachtungen aus dem Markt erweitert und das parallele Durchführen von Aktivitäten erlaubt, wodurch eine Zeitersparnis trotz erhöhtem Abstimmungsaufwand ermöglicht und die Wahrscheinlichkeit für einen Markterfolg des Produkts erhöht wird (VDI 2221:2019).

Trotz des Zulassens von Phasenüberlappungen in der dritten Generation, die das hauptsächliche Weiterentwicklungsmerkmal der dritten zur zweiten Generation des Stage-Gate®-Ansatzes darstellen, konnte sich die dritte Generation in der Praxis nicht gegenüber der zweiten durchsetzen (Meboldt, 2009). Zwar wird der zeitliche Bezug zwischen Aktivitäten und Phasen hierdurch aufgehoben (VDI 2221:2019), in Anbetracht mangelnder Struktur und unzureichender Werkzeuge, um die Ideen in die Prozesse zu bringen, bleibt die dritte Generation ein Vorschlag von Cooper (Meboldt, 2009).

¹⁶ Angesichts der Bestrebungen, agile Elemente in Prozessmodellen abzubilden, entwickelte Cooper eine hybride Version des Stage-Gate®-Prozesses, die in 2.2.5 beschrieben wird.

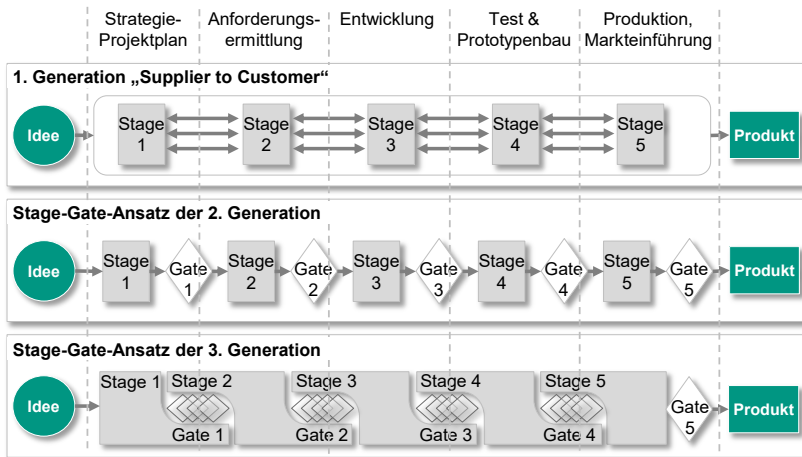


Abbildung 2.13: 1.-3. Generation des Stage-Gate® Prozesses nach COOPER (1994),
Abbildung nach BURSAC (2016, S. 13)

Die in diesem Abschnitt beschriebenen plangetriebenen Ansätze stellen einen Auszug dieser Gattung an Vorgehensmodellen dar. Die Mechanismen wurden zu Abschnittsbeginn beschrieben und schlagen sich in allen Vertretern in leichten Abwandlungen nieder. Ausdrücklich sei erwähnt, dass der gezielte und zweckmäßige Einsatz von Elementen ausgewählter plangetriebener Ansätze in Anbetracht der hohen und steigenden Komplexität technischer Systeme (Advanced Systems) in der vorliegenden Forschungsarbeit als notwendige Bedingung für einen Markterfolg gesehen wird. Die weitere für die Arbeit relevante Gattung an Vorgehensmodellen sind die agilen Ansätze, die im folgenden Abschnitt beschrieben werden.

2.2.3 Ausgewählte agile Ansätze

In einzelnen Bereichen von Unternehmen der Mechatronikbranche werden zunehmend agile Ansätze in die Entwicklungsprozesse zur Verbesserung der Kollaboration der Beteiligten eingebracht (Atzberger, Nicklas et al., 2020; Cooper, 2014; Dumitrescu et al., 2021). In Ihrem Ursprung vorgeschlagen durch Takeuchi und Nonaka (1986) zur Weiterentwicklung der Kollaboration innerhalb zunehmend interdisziplinär konstatierter Entwicklungsteams in der Entstehung mechatronischer Systeme, gewinnen agile Ansätze durch die Formulierung des *agilen Manifests* (Fowler

& Highsmith, 2001) seit dem Jahr 2001 in der Softwareentwicklung rapide an Bedeutung. Im Gegensatz zu den plangetriebenen Ansätzen stellen agile Ansätze Rahmenwerke basierend auf übergeordneten Prinzipien dar, die Entwicklungsteams durch vorgeschlagene Rollen, Methoden und einfache Tools im Prozess der Produktentstehung unterstützen (Boehm & Turner, 2003b; Fowler & Highsmith, 2001; Petersen & Wohlin, 2010; Schwaber & Sutherland, 2020). Agile Ansätze haben folgende Eigenschaften gemein (Boehm & Turner, 2003b; Petersen & Wohlin, 2010):

- Iterative Projektplanung soll Verschwendung durch Überplanung vermeiden.
- Änderungen in den Anforderungen sollen über den gesamten Projektverlauf zur Steigerung des Kundenwerts zugelassen und begrüßt werden.
- In jedem zeitlich begrenzten Projektabschnitt wird ein funktionsfähiges Ergebnis (sog. Inkrement (Schwaber & Sutherland, 2020)) erzeugt.
- Die Validierung erfolgt kontinuierlich durch direkte Interaktion von Stakeholdern mit den erzeugten Ergebnissen.
- Die Entwicklungstätigkeiten werden von den Planungs- und Validierungstätigkeiten getrennt.
- Die Entwicklung erfolgt in einem oder mehreren vernetzten Entwicklungsteams mit klar definierten Verantwortlichkeiten¹⁷.

Das Ziel, das mit agilen Ansätzen verfolgt wird, ist die Maximierung des Kundinnen-, Kunden- und Anwendendennutzens bei fest vorgegebenen Ressourcen unter Minimierung von Verschwendung durch Planungs- und Diskussionsaufwänden. (Boehm & Turner, 2003a) Dabei steht eine frühe und kontinuierliche Kollaboration mit Kundinnen, Kunden und Anwendenden sowie iterative Planung und Reifegradsteigerungen des Produkts im Vordergrund. Teams arbeiten autonom und eigenverantwortlich (Schwaber & Sutherland, 2020).

Auch wenn agile Ansätze im Rahmen aktueller Forschungs- und Förderprogramme in der Entwicklung mechatronischer Systeme eine zunehmend relevante Rolle einnehmen (Dumitrescu et al., 2021) und moderne Produktentwicklung suggerieren, ist die Anwendung dieser Ansätze im falschen Einsatzkontext kritisch (Kusay-Merkle, 2018). So bieten sie meist keine Mechanismen, die bestehendes Produkt- oder Prozesswissen in die Realisierung von Produktentstehungsvorhaben einbringen (Heimicke et al., 2018). Auch die Berücksichtigung von relevanten Normen und

¹⁷ Der Rollenbegriff war lange Zeit als Bestandteil von Agilität verbreitet. Um Scheuklappen in den durchzuführenden Aktivitäten zu vermeiden, wurde es z. B. aus dem neusten Scrum Guide entfernt. In der agilen Kollaboration werden nunmehr Verantwortlichkeiten statt Rollen definiert (Schwaber und Sutherland (2020)).

Standards ist in den etablierten agilen Ansätzen nicht vorgesehen (Heimicke, Spadinger & Li, Xiang, Albers, Albert, 2020). Organisatorische Randbedingungen wie langjährige Lieferantenbeziehungen, Hierarchien oder auch Entlohnungsmodelle in Unternehmen können ebenfalls Zielkonflikte mit den agilen Prinzipien hervorrufen (Dikert et al., 2016; Gregory et al., 2015). Zuletzt kann der starke Fokus auf Kundinnen-, Kunden- und Anwendendennutzen, der in agilen Ansätzen teilweise als Prinzip manifestiert ist, in der Priorisierung von Anforderungen zu einer zu geringen Ausrichtung von Produktentstehungsvorhaben auf den Anbieternutzen führen (Albers, Heimicke, Walter et al., 2018; Zimmermann et al., 2019).

Oftmals stehen Organisationseinheiten oder auch Projektleiter vor der Fragestellung, welche Vorgehensweise sich eignet, um ein bestimmtes Entwicklungsprojekt durchzuführen (Dalbudak et al., 2021). Dabei bedient sich die Praxis oftmals am sogenannten *Cynefin Framework* nach SNOWDEN UND BOONE (2007) (siehe Abbildung 2.14 links). Dieses fußt auf der Annahme, dass sich Projektvorhaben anhand ihres Komplexitätsgrades und der damit verbundenen Robustheit von Entscheidungen und Projektplanung in *einfache*, *komplizierte*, *komplexe* oder *chaotische* Vorhaben einordnen lassen. Dabei verlange jede Kategorie individuelle Entscheidungs- und Handlungsabläufe. In einfachen Vorhaben ist demnach die Fähigkeit, Sachverhalte zu kategorisieren relevant. Während komplizierte Vorhaben ein hohes Maß an Analysekompetenz verlangen, steht in komplexen Vorhaben das Prüfen von Annahmen im Vordergrund. Für chaotische Fragestellung wird ein Handeln im Angesicht von Unkenntnis, um einen definierten Ausgangszustand zu erreichen, empfohlen. (Snowden & Boone, 2007)

Unter dieser Annahme sollen agile Ansätze insbesondere bei komplexen Fragestellungen Einsatz finden, während einfache und komplizierte Vorhaben plangetrieben umgesetzt werden können (Dalbudak et al., 2021). Zur Unterstützung in der Einordnung von Vorhaben in die genannten Kategorien lässt sich die Stacey-Matrix (siehe Abbildung 2.14 rechts) anwenden (Stacey, 2011). Diese ordnet die beschriebenen Projektzustände hinsichtlich der Klarheit im zu lösenden Problem bzw. Grad an Unsicherheiten im Zielsystem sowie hinsichtlich der Klarheit bezüglich der Realisierung im Objektsystem ein (siehe Abbildung 2.14 rechts) (Stacey, 2011)¹⁸.

¹⁸ Der ZHO-Gedanke wurde vom Autor auf das Modell übertragen.

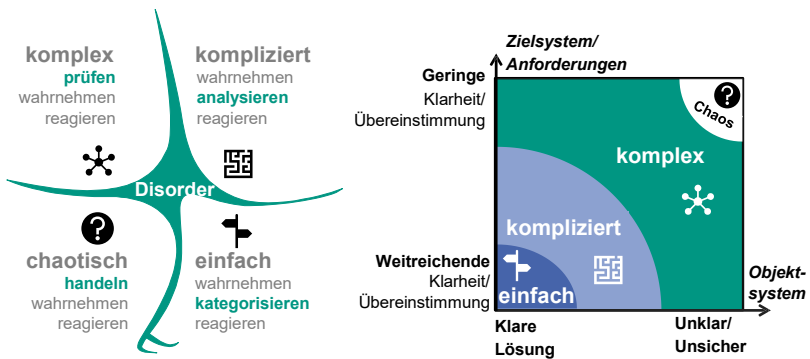


Abbildung 2.14: Cynefin Framework (links) nach SNOWDEN UND BOONE (2007), eigene Übersetzung und Stacey-Matrix (rechts) nach STACEY (2011), eigene Darstellung in Anlehnung an Gadatsch et al. (2018)

Kritisiert wird die Einordnung von Gesamtprojekten und die darauf basierende Auswahl eines exklusiven Projektmanagementansatzes, da in Projekten stets unterschiedlichen Problemstellungen und damit Projektzustände parallel koexistieren (von einfach bis chaotisch). Eine einfache Wahl eines einzigen Ansatzes kann keine durchgängig adäquate Unterstützung von Entwicklungsteams gewährleisten (Breitschuh et al., 2018). Im richtigen Einsatzkontext können agile Ansätze jedoch zu den beschriebenen Vorteilen in der Entwicklung führen (Boehm & Turner, 2003b; Kusay-Merkle, 2018). Es folgt eine Kurzvorstellung etablierter agiler Ansätze.

Einer der ersten Ansätze, der agile Arbeitsweisen realisiert (Senapathi & Srinivasan, 2012), ist das **Kanban-System** nach Ohno (SUGIMORI et al., 1977). Im Rahmen des Toyota Produktionssystems sollte Verschwendung minimiert und ein Fluss in der Bearbeitung von Aufgaben (= *Flow*) innerhalb eines Teams erzeugen werden. Kern des Systems sind Auftragskarten – die sogenannten Kanbans – die zu erledigende Aufträge im Rahmen der Produktion enthalten. Diese werden auf einem Kanban-Board (siehe Abbildung 2.15) organisiert. Neben der Begrenzung von Überkapazitäten sollten auf diese Weise Produktionskosten sowie Aufwände, die im Rahmen der Erfassung der Projekt-IST-Situation anfallen, reduziert werden. (SUGIMORI et al., 1977)

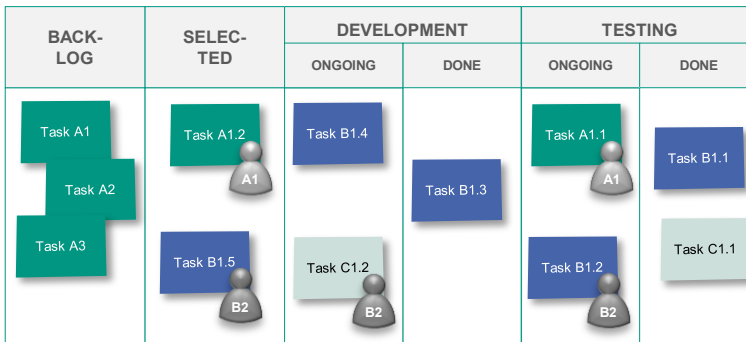


Abbildung 2.15: Kanban-Board – eigene Darstellung in Anlehnung an HEIKKILÄ ET AL. (2016)

Eine Person kann lediglich eine Aufgabe zu einer Zeit bearbeiten, sodass die in einem Speicher gesammelten Aufgaben priorisiert und daraufhin nach dem Pull-Prinzip abgearbeitet werden. So beginnt eine Person mit einer Aufgabe erst, wenn die vorherige Aufgabe abgeschlossen wurde. Der Status im Board wird geändert (in einem Kanban-Board analog zu Abbildung 2.15 erfolgt dies durch ein einfaches Verschieben einer Karte nach rechts) und eine neue Aufgabe kann begonnen werden. Die Person, die den nachgelagerten Prozess verantwortet, kann diesen nun durchführen. Der aktuelle Projektstand ist jederzeit einsehbar. (Heikkilä et al., 2016; SUGIMORI et al., 1977)

Kanban beinhaltet keine Instrumente für die strategische Projektplanung und eignet sich lediglich, wenn die zu erledigenden Aufgaben und deren Umfang in Projekten bekannt ist. Ist dies der Fall, ist es möglich, einen Flow in Projekten zu erzeugen. In der Regel bestehen in Entwicklungsprojekten jedoch große Anteile unsicherer Zustände sowohl im Zielsystem als auch im Objektsystem (Muschik, 2011), sodass ein reines Koordinieren nach Kanban nicht zweckmäßig ist. (Albers, Heimicke, Spadinger et al., 2019b; Heimicke, Niever et al., 2019)

Scrum nimmt den Kanban-Gedanken des Flows auf und erweitert diesen um verschiedene projektmanagement-bezogene Elemente (Schwaber & Sutherland, 2020). Das agile Framework wurde basierend auf den Werten im agilen Manifest formalisiert und stellt Entwicklungsteams einfache Abläufe und Regeln zur Verfügung, um die Produktentwicklung zu unterstützen und insbesondere die Kollaboration in Entwicklungsteams zu verbessern (Gloger, 2017). Dazu stellt das Framework Events, und Artefakte zur Verfügung, mittels derer drei Verantwortungsbereiche in

der Entstehung von Produkten kollaborieren und den maximalen Kundenwert aus einem Entwicklungsprojekt hervorbringen. Dabei liegt der Hauptanwendungsbereich von Scrum noch immer in der Entwicklung von Software (Atzberger, Nicklas et al., 2020; digital.ai, 2020). Schwaber und Sutherland erklären „Scrum in a Nutshell“ wie folgt (Schwaber & Sutherland, 2020):

„Scrum erfordert einen Scrum Master, der ein Umfeld fördert, in dem [gilt]:

- 1. Ein Product Owner ordnet die Arbeit für ein komplexes Problem in einem Product Backlog an.*
- 2. Das Scrum Team verwandelt eine Auswahl der Arbeit in ein Nutzen stiftendes Inkrement während eines Sprints.*
- 3. Das Scrum Team und seine Stakeholder prüfen die Ergebnisse und passen sie für den nächsten Sprint an.*
- 4. Wiederhole“¹⁹*

Scrum basiert auf einem iterativen Vorgehen (Wynn & Eckert, 2017), das in Abbildung 2.16 vereinfacht dargestellt ist. Das Herzstück in Scrum ist der Sprint in dem ein Inkrement – ein in einem Teilergebnis realisierte und durch Anwendende nutzbare Funktionalität – durch ein Entwicklungsteam realisiert wird (die übliche Dauer ist 4 Wochen). Bevor ein Sprint beginnt, erfolgt das Sprint Planning. In diesem plant das Entwicklungsteam gemeinsam mit dem Scrum Master und dem Product Owner die Arbeitsumfänge für den kommenden Sprint. Diese werden im sogenannten Sprint Backlog priorisiert. Die Grundlage für das Sprint Planning ist ein priorisiertes Product Backlog. Dieses stellt eine priorisierte Sammlung von Zielen aus Sicht verschiedener Stakeholder dar und wird durch den Product Owner aufgebaut und kontinuierlich gepflegt. Während des Sprints erfolgt das Daily Meeting, das eine tägliche Zusammenkunft des Scrum Teams (= Entwicklungsteam, Scrum Master und Product Owner) darstellt. In dieser informiert sich das Team über den aktuellen Projektstand und mögliche Herausforderungen, die der Scrum Master beseitigt. Zu Sprint Ende erfolgt das Review, in dem das Inkrement durch die Stakeholder überprüft wird sowie das Retrospective Meeting, in dem das Team den durchgeführten Sprint analysiert und Verbesserungspotentiale für die zukünftige Umsetzung sammelt. (Gloger, 2017; Schwaber & Sutherland, 2020)

¹⁹ Übersetzt aus dem Scrum Guide 2020

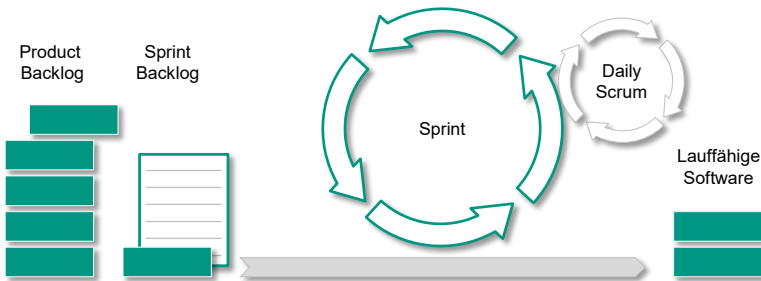


Abbildung 2.16: Das agile Framework Scrum nach Schwaber und Sutherland (2020) in vereinfachter Darstellung nach Bursac (2016, S. 19)

Sowohl für die Transformation als auch für die Übertragung des Ansatzes in die Entwicklung mechatronischer Systeme bedarf es zunächst einer Abwägung, welche Bereiche im Unternehmen für die Transformation geeignet sind und darüber hinaus einer Weiterentwicklung von Denk- und Handlungsweisen in allen Hierarchieebenen. (Kusay-Merkle, 2018; Moe et al., 2010) Eine Übertragbarkeit von Scrum aus der Software- in ausgewählte Anwendungsbereiche der Mechatroniksystementwicklung sehen Conforto et al. (2014), weisen jedoch auf die Notwendigkeit von Anpassungen hin. Dies begründen Ronkainen und Abrahamsson (2003) mit der Diskrepanz im Entwicklungskontext der Mechatroniksystementwicklung mit derjenigen der Softwareentwicklung. In der Entwicklung mechatronischer Systeme ist z. B. zu gewährleisten, dass die in Abschnitt 2.2.2 beschriebenen Anforderungen aus den Normen und Standards berücksichtigt und die Schwächen von Scrum in der strategischen Planung von Projekten minimiert werden (Heimicke, Spadinger & Li, Xiang, Albers, Albert, 2020). Eine weitere Herausforderung besteht im Umgang mit den physischen Eigenschaften mechatronischer Systeme, die Aufwände für die Herstellung sowie Entwicklung sowohl der Produktinkremente als auch von Validierungs- und Produktionssystemen notwendig machen (Albers, Reiß, Bursac & Richter, 2016; Ovesen, 2012; Schmidt et al., 2017). Zudem sind die Anforderungen, die klassische Kunden-Lieferantenbeziehungen in etablierten Wertschöpfungsnetzwerken an die Produktentstehung stellen bei der Integration von Scrum in die Prozesse von Unternehmen der Mechatronikbranche einzubeziehen (Dumitrescu et al., 2021; Schuh et al., 2016).

Ein Ansatz für das iterative, kreative und menschenzentrierte Lösen von Problemen ist das Konzept **Design Thinking** (Noweski et al., 2009)²⁰. Es soll Entwickler darin unterstützen, Probleme durch einen iterativen Prozess unter der durchgängigen Nutzung von Gestaltungsprinzipien sowie der kontinuierlichen Identifikation von Nutzerbedürfnissen und Nutzung ihres Feedbacks zu lösen. Dabei stehen das Hineinfühlen in Anwendende des späteren Produkts sowie der frühe und kontinuierliche Aufbau von Prototypen zur Absicherung von Annahmen im Zentrum des Ansatzes. (Noweski et al., 2009) Hierdurch sollen Konzepte für technische Systeme entstehen, die ein Optimum aus Realisierbarkeit (viability), Begehrlichkeit (desirability) und technischer Machbarkeit (feasability) darstellen, entstehen (Brown & Wyatt, 2010).

Es existieren verschiedene Beschreibungsmodelle von Design Thinking (Vogel et al., 2020), wobei das Hasso-Plattner-Institut das Vorgehen in 6 iterative Schritte gliedert (Abbildung 2.17). Im ersten Schritt (*Verstehen*) wird die Problemstellung hinterfragt und konkretisiert. Ziel des Schritts *Beobachten* ist es, dass die Entwickler die Perspektive und den potenziellen Nutzungskontext der künftigen Anwendenden des entwickelten Produkts verstehen und im Schritt *Standpunkt definieren* ähnlich zum Produktprofil (siehe 2.1.1) kondensieren und explizieren. Hieraus leitet das Team Ziele und Anforderungen an das Produkt aus Sicht unterschiedlicher Stakeholdergruppen ab. Ko-evolutionär zum Verdichten des Problems werden kreative Lösungen im Schritt *Ideen entwickeln* unter Nutzung verschiedener Kreativitätstechniken entwickelt und unmittelbar und kontinuierlich in Prototypen umgesetzt. Die entsprechenden Aktivitäten werden im Schritt *Prototypenaufbau* zusammengefasst. Die Prototypen haben jedoch in der Regel konzeptionellen Charakter, sodass die Kernidee abgesichert wird²¹. Die Absicherung der Prototypen und auch der Konzepte erfolgt im Schritt *Testen* innerhalb dessen Erkenntnisse bezüglich Machbarkeit oder auch der Kundinnen-, Kunden- und Anwendendennutzen gewonnen werden. Im Design Thinking steht das Testen unter sehr geringem Kosten- und Zeitaufwand im Fokus. Die Erkenntnisse aus den Tests fließen in die kontinuierlichen Konzipierungs- und Realisierungszyklen im Rahmen der Konzept- und Prototypenentwicklung ein. (*Design Thinking-Prozess - Design Thinking - Hasso-Plattner-Institut*, 2021; Plattner et al., 2011; Vogel et al., 2020) Design Thinking wird dazu

²⁰ Design Thinking ist keine Methode oder Prozess und wird in der Regel als Konzept oder Ansatz dargestellt.

²¹ Aus der Übersicht in der Sammlung Plattner et al. (2011) konnte kein Beispiel identifiziert werden, innerhalb dessen im Rahmen der Design Thinking Prozesse eine realitätsnahe physische Validierung unter Nutzung von Prüfständen oder sonstigen reifen Technologien durchgeführt wurde.

genutzt, kleinere Entwicklungsteams bei der kreativen Lösung von Problemen zu unterstützen (Plattner et al., 2011).

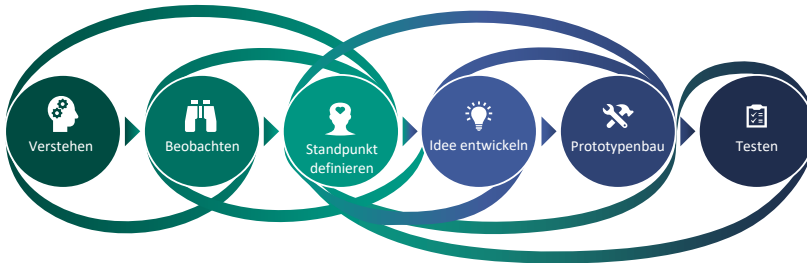


Abbildung 2.17: Design Thinking Prozess nach PLATTNER ET AL. (2011)übersetzt nach Vogel et al. (2020). Eigene Darstellung

Die Eignung von Design Thinking zur Koordination gesamter Entwicklungsprojekte komplexer mechatronischer Systeme ist jedoch fraglich. Auch der geringe technische Bezug in der frühen und kontinuierlichen Validierung lässt lediglich eine Aussage bezüglich der Projektvision, weniger jedoch zum Erfüllungsgrad technischer Anforderungen (z. B. Schwingungsverhalten) zu (Albers, Behrendt et al., 2017).

2.2.4 Beschreibungsmodelle des Produktentstehungsprozesses

Zunehmend automatisierte technische Systeme als Teil eines übergeordneten System of Systems, sich weiterentwickelnde Anforderungen aus den Märkten in Kombination mit erhöhtem Wettbewerbsdruck und die Partizipation einer Vielzahl an Domänen am Produktentstehungsprozess machen es unabdingbar, die Produktentstehung integriert zu betrachten (Dumitrescu et al., 2021). Dies bedeutet, dass ein Produktentstehungsvorhaben nicht in einem isolierten Projekt geplant und durchgeführt werden darf, sondern zugleich die Entwicklung des zugehörigen Produktionssystems und des zur kontinuierlichen Validierung notwendigen Validierungssystems im Einklang mit der Unternehmensstrategie modelliert und in Wechselwirkung betrachtet werden muss. Hierdurch lassen sich frühzeitig Randbedingungen zwischen den Systemen identifizieren und in der Realisierung des technischen Systems berücksichtigen. (Albers, Reiß, Bursac & Richter, 2016) Die fehlende integrierte Betrachtung der Entwicklung mechatronischer Systeme ist zugleich eine große Schwäche bestehender agiler Ansätze (Heimicke, Niever et al.,

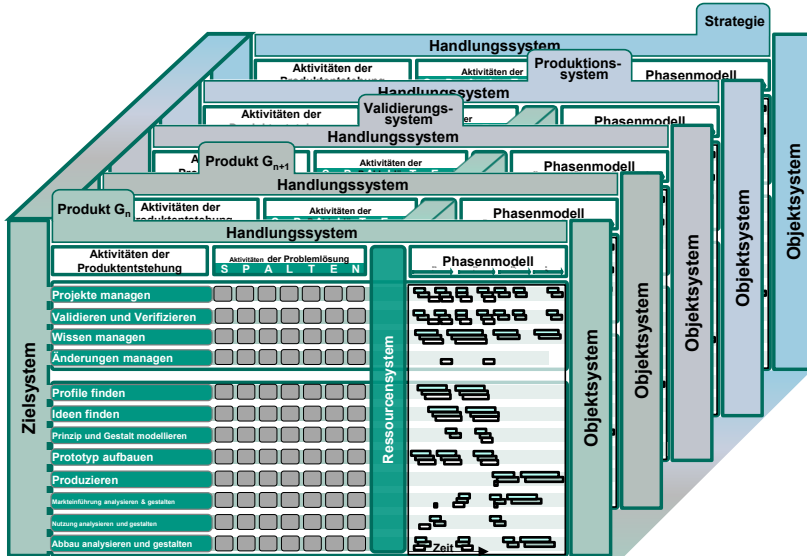
2019). Um diese Aspekte im Produktentstehungsprozess abbilden zu können, eignet sich das **iPeM – integrierte Produktentstehungsmodell** nach ALBERS und MEBOLDT (2007) (die aktuellste Version des iPeM ist in Abbildung 2.18 zu sehen).

Definition 11: iPeM – integriertes Produktentstehungs-Modell

„Das iPeM ist ein generisches Metamodell, das die relevanten Elemente zur Ableitung von situationsspezifischen Produktentwicklungsprozessmodellen umfasst. Das iPeM basiert auf dem Systemtripel der Produktentwicklung: Es beschreibt die Produktentwicklung als eine kontinuierliche Interaktion des Systems der Ziele, des Systems der Objekte und des Handlungssystems.“ (Albers, Reiß et al., 2016) übersetzt nach IPEK Glossar

Somit stellt das Modell die notwendigen Elemente zur Verfügung, um spezifische Produktentstehungsprozessmodelle abzuleiten (Muschik, 2011, S. 159). Hierzu beinhaltet es die Aktivitäten der Produktentstehung (Braun, 2013; Meboldt, 2009), die aufgrund der im Modell vollzogenen Trennung von vordefinierten Phasen parallel und iterativ abgebildet werden können (Albers, Sadowski & Marxen, 2011), wodurch ein klassisches Wasserfallvorgehen oder ein zu Projektbeginn bereits vordefinierter sequenzieller Prozess vermieden werden. Um einen zeitlichen Projektverlauf zu visualisieren, wird in der Logik des Modells der Problemlösungsprozess SPALTEN (Albers et al., 2005) genutzt, um die Aktivitäten der Produktentstehung für die operative Ebene weiter aufzulösen und in handhabbare Aufgaben herunterzubrechen (Meboldt, 2009). SPALTEN ist ein Akronym und beschreibt sieben Schritte der Problemlösung – die **Situationsanalyse**, **Problemeingrenzung**, **Alternative Lösungen**, **Lösungsauswahl**, **Tragweitenanalyse**, **Entscheiden und Umsetzen** und **Nachbereiten und Lernen** – in denen im Wechsel aktivitätsspezifische Informationen generiert und verdichtet werden (Albers, Reiß, Bursac & Breitschuh, 2016). Durch die Anwendung dieser Mikroaktivitäten auf die Makroaktivitäten entsteht eine Matrix an 84 Feldern, innerhalb derer Entwicklungsmethoden die Durchführung unterstützen können (Albers, Braun et al., 2020).

Zum Umgang mit der Dynamik in Produktentstehungsprozessen lassen sich dann im dynamischen Teil des iPeM – dem *Phasenmodell* – Aktivitäten über die Zeit auftragen. Das Phasenmodell lässt es zu, verschiedene Prozesse analog zum Referenzsystemgedanken abzubilden und das hierdurch gesammelte Prozesswissen in der Planung und Durchführung von Entwicklungsprojekten zu nutzen. Hierbei werden der *Referenzprozess* (über verschiedene Projektdurchläufe gesammeltes und kondensiertes Prozesswissen) (Albers, Rapp, Peglow et al., 2019), der *SOLL-Prozess* (Projektplan) und der *IST-Prozess* (tatsächlicher Projektverlauf) unterschieden



Rückschluss auf die jeweils durchgeführten Problemlösungsaktivitäten lässt das Modell in seiner Reinform nicht zu. Aufgrund der Breite der im iPeM abgedeckten Entwicklungsvorhaben sowie der Flexibilität zur Modellierung komplexer Produktentstehungsvorhaben wurde das Prozessverständnis aus dem iPeM der neuen **VDI 2221** zu Grunde gelegt. Diese stellt Produktentwicklern ebenfalls ein generisches Prozessmodell zur Ausleitung spezifischer Prozessmodelle inklusive generischer Aktivitäten zur Verfügung, die sich analog zur Logik im iPeM auf einer Zeitachse verorten lassen und zugleich – ohne die Modellogik zu verletzen – parallel und iterativ erfolgen können (siehe Abbildung 2.19).

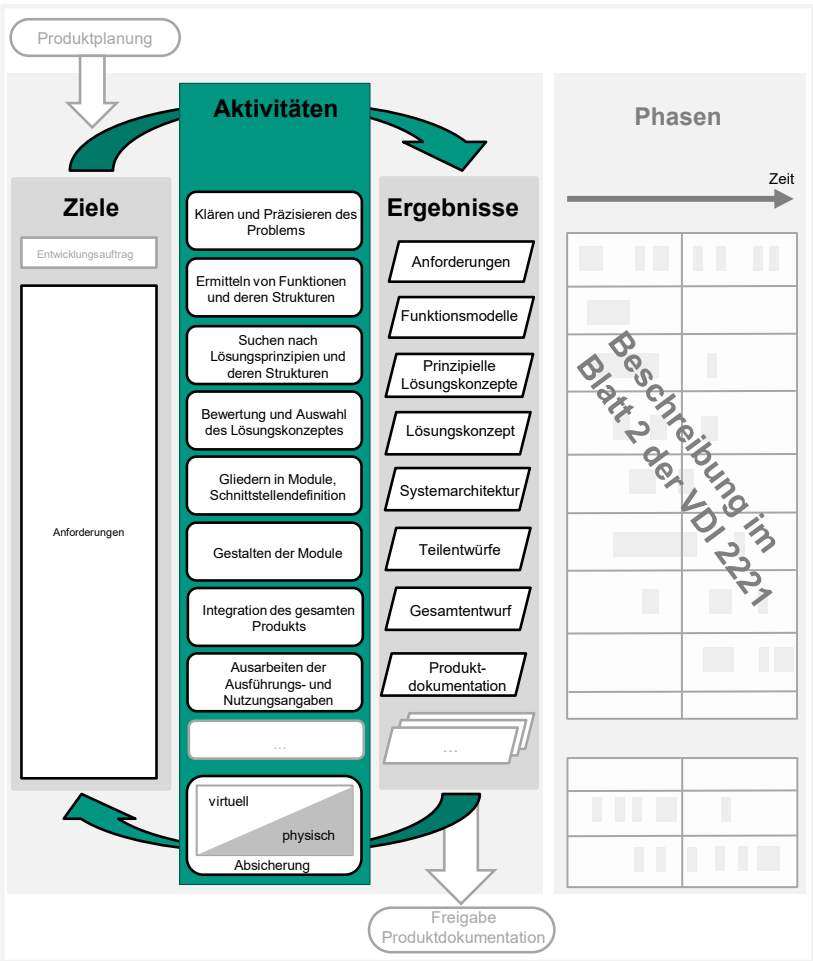


Abbildung 2.19: Prozessmodell der VDI 2221:2019 Blatt 1. Abbildung nach ALBERS (2020)

Sowohl das iPeM als auch die VDI 2221 beinhalten somit die Modellierungsregeln, um agile Produktentwicklungsprojekte über eine Zeitachse abzubilden und ermöglichen das parallele Darstellen von Validierungsaktivitäten, wodurch ein dem Modell geschuldetes *Validieren erst zu Projektende* vermieden wird.

Sowohl im iPeM als auch in der VDI 2221 sollen Entwicklungsteams in der Durchführung von Produktentstehungsaktivitäten durch den gezielten Einsatz von Entwicklungsmethoden unterstützt werden. Mit dem Fokus der situations- und bedarfsgerechten Empfehlung von Entwicklungsmethoden in Prozessen der Mechatroniksystementwicklung realisierte REIß (2018) den **InnoFox**. Basierend auf der Ontologie des iPeM werden durch die Nutzung des InnoFox Entwicklungsmethoden je nach Bedarf – also nach aktueller Ausprägung und Konstellation von Ziel-, Objekt-, Handlungs- und Referenzsystem – vorgeschlagen (Albers et al., 2014). Hierzu wurden über 130 Methoden der Produktentstehung analysiert, kategorisiert, bewertet und unter Nutzung eines einheitlichen Methodensteckbriefs aufbereitet und in eine Methodendatenbank eingeordnet. Der Fokus hierbei lag auf Entwicklungsmethoden, Methoden zur Förderung der Kollaboration und damit zur expliziten Weiterentwicklung von Prozessen unter Einbezug der Agilität sind derzeit nur selten in der Datenbank enthalten. (Reiß, 2018, 155ff.)



Abbildung 2.20: Elemente zur Methodenauswahl nach Reiß (2018, S. 162)

Der Zugriff auf die Methoden erfolgt über verschiedene mögliche Auswahlkriterien (siehe Abbildung 2.20). Nutzer können so angeben, welche Ziele in der kommenden Aktivität angestrebt werden (1), in welcher Situation im Produktentstehungsprozess sie sich befinden (2), welche Ressourcen zur Durchführung der kommenden Aktivitäten zur Verfügung stehen (3) und welche Ergebnisse erarbeitet werden sollen (4). Die große Anzahl an Methoden und die durch das iPeM abgedeckte Vielzahl an

verschiedenen Situationen machen den InnoFox zu einem nützlichen Methodenassistenten zur breiten Methodenempfehlung im gesamten Produktentstehungsprozess. Dabei wurden im InnoFox jedoch keine Methoden zur Realisierung agiler Produktentstehung integriert. (Reiß, 2018, 155ff.)

Im folgenden Abschnitt werden ausgewählte Ansätze vorgestellt, die Prinzipien agiler Entwicklung auf Gesamtorganisationen skalieren oder durch Kombination aus agilen und plangetriebenen Elementen eine Hybridisierung ermöglichen.

2.2.5 Skalierte und hybride Ansätze

Agile Ansätze wurden seit der Beschreibung der grundlegenden Vorgehensweisen agilen Arbeitens im agilen Manifest in einer Vielzahl an Anwendungsfällen (vornehmlich Softwareentwicklung) erfolgreich genutzt sowie in ursprünglich nicht vorgesehene Anwendungsfälle übertragen (Šmite et al., 2010). Da hier oftmals der Bedarf der Anpassung der bestehenden agilen Ansätze an die jeweiligen Rahmenbedingungen besteht und entsprechende Entwicklungsumgebungen plangetrieben strukturiert sind, entstanden Kombinationen aus agilen und plangetriebenen Ansätzen, die als **hybride Ansätze** bezeichnet werden (Schuh, Rebentisch et al., 2017). Andererseits wurden die Rahmenwerke, die Regeln zur Unterstützung einzelner Entwicklungsteams enthalten, auf die Harmonisierung mehrerer Entwicklungsteams sowie der Integration von Querschnittsprozessen (z. B. Qualitätssicherung) unter Beibehaltung der zentralen Wirkungsweisen **skaliert** (Dingsøyr et al., 2014). Bei der Transformation der gesamten Organisation hin zu agilen Arbeitsweisen unter Nutzung agiler Skalierungsframeworks (siehe z. B. die agile Transformation von Volvo (Denning, 2020)) handelt es sich zumindest in der Mechatronikbranche bisher nur um vereinzelte Fallbeispiele. Der Großteil der skalierten Frameworks adressiert die Entwicklung von reiner Software (siehe Tabelle 2). In der Praxis sind die skalierten Ansätze **Scrum of Scrums** und **Scaled Agile Framework** mit großem Abstand am weitesten verbreitet (Ebert & Paasivaara, 2017) und werden daher im weiteren Verlauf detaillierter vorgestellt. Ausgewählte Praktiken der agilen Skalierung sind (Ebert & Paasivaara, 2017):

- Wandel klassischer funktionaler Verantwortlichkeiten zu kleinen und vernetzten cross-funktionalen Teams
- Abkehr vom in Phasen unterteilten Produktlebenszyklus hin zum Verständnis kontinuierlicher Auslieferung
- Förderung standortverteilter Produktentwicklung
- Verstärkung der gezielten Wiederverwendung bestehender Lösungen

Tabelle 2: Vergleich verschiedener agiler Skalierungsframeworks nach Ebert und Paasivaara (2017), eigene Übersetzung. Frameworks im blauen Rahmen werden aufgrund ihrer häufigen Nutzung im weiteren Verlauf vorgestellt

Kriterium	Scrum of Scrums (SoS)	Scaled Agile Framework (SAFe)	Large-Scale Scrum (LeSS)	Disciplined Agile Delivery (DAD)	Lean Scalable Agility for Engineering (LeanSAFE)
Bereich	Software Hardware	Software	Software	Software	Software Hardware
Unterscheidungsmerkmal	Ermöglicht Scrum für alle Situationen und Skalierungen.	Komplexes Framework mit vielen Artefakten, Rollen und Richtlinien	Bietet Flexibilität durch das Bereitstellen von Vorschlägen.	Ist komplex, mit Einbeziehung von vielen Frameworks.	Entwicklung kritischer Systeme
Basisframework	Scrum	Scrum und andere agile Prinzipien	Scrum	Scrum, Lean	Scrum, Lean
Skalierung	Flexibel, gut in verschiedenen Umgebungen einzusetzen	Adressiert große Unternehmen, wird aber als schwerfällig wahrgenommen.	Kann angepasst werden an verschiedene Umgebungen.	Kann angepasst werden an verschiedene Umgebungen.	Kann angepasst werden an verschiedene Umgebungen.
Komplexität	gering	hoch	mittel	mittel	gering

Der agile Ansatz, der den meisten Skalierungsframeworks unterliegt, ist Scrum (Ebert & Paasivaara, 2017). Ein sehr einfaches agiles skaliertes Framework ist der Ansatz des **Scrum of Scrums** (Sutherland, 2005). Die Kernidee besteht darin, durch ein einfaches regelmäßiges Treffen aus Vertretenden verschiedener agil entwickelnder Teams eine Synchronisation zwischen diesen zu erreichen (Paasivaara et al., 2012). Dies erfolgt durch ein Daily Scrum Meeting (siehe Abschnitt 2.2.3), das jedoch nicht zwischen Individuen eines Teams, sondern zwischen den Teams stattfindet. In diesem 2-5 mal wöchentlich erfolgendem Treffen sollen die folgenden Fragen beantwortet und entsprechende Maßnahmen zur Verbesserung der Harmonisierung der Teams abgeleitet werden (Paasivaara et al., 2012):

- 1) „Was hat Ihr Team seit der letzten Zusammenkunft getan, das für ein anderes Team von Bedeutung ist?
- 2) Was wird Ihr Team bis zum nächsten Treffen tun, das für andere Teams von Bedeutung ist?
- 3) Welche Hindernisse gibt es in Ihrem Team, die andere Teams betreffen oder Hilfe von ihnen notwendig machen?

4) Sind Sie dabei, einem anderen Team etwas in den Weg zu stellen?“²²

Die Teams entsenden wechselnde Vertreter in das bis zu 60-minütige Treffen. Es sollte jedoch kein Treffen der Scrum Master der einzelnen Teams sein, da auf diese Weise keine inhaltlichen Schnittstellenthemen zwischen den Teams abgestimmt werden können (Larmann & Vodde, 2010, S. 197). KELLER ET AL. (2019, 36f.) diskutieren eine Vielzahl an Schwächen von Scrum of Scrums, die zumeist auf einer inkonsistenten Interessenslage der einzelnen Teams in der Lösung von Schnittstellenproblemen zurückzuführen sind.

Der am weitesten verbreitete skalierte Ansatz ist das **Scaled Agile Framework** (SAFe) (digital.ai, 2021), eine frei zugängliche Sammlung agiler Praktiken und Strukturen (Scaled Agile Framework, 2021). Dabei setzt es auf sieben zentralen Kompetenzen auf. Abbildung 2.21 beinhaltet diese Kompetenzen, die eine Kombination aus agilen Handlungsweisen (blau hinterlegt) mit dem Lean-Gedanken (grün hinterlegt) sowie ausgewählten Interpretationen modernen Führens (weiß hinterlegt) umfassen. Je Kompetenz sind in der Abbildung die drei wichtigsten Herangehensweisen zur Realisierung der Kompetenz im SAFe aufgeführt.

Diese Kompetenzen sollen durch eine komplexe Sammlung an Praktiken umgesetzt werden. Im Zentrum von SAFe stehen *Agile Release Trains* (Scaled Agile Framework, 2021). Diese stellen Wertströme dar, die wiederum den agilen Fortschritt eines strategischen Auftrags oder Projekts kondensieren. In einem *Agile Release Train* arbeiten viele Scrum Teams zusammen, die durch die Anwendung verschiedener agiler Praktiken miteinander synchronisiert werden. (Pries-Heje & Krohn, 2017). Die Voraussetzung hierfür ist, dass die einzelnen Wertströme in einer Organisation identifiziert und beschrieben werden. Dies erfolgt beispielsweise in einem *Value Stream Mapping* auf Managementebene (Putta et al., 2019). Diese Wertströme werden dann durch eine große Zahl an Scrum Teams umgesetzt. So erfolgt beispielsweise alle 6 Monate ein Softwarerelease (siehe Beispiel SimCorp in Pries-Heje und Krohn (2017)). Kritisch wird an SAFe die hohe Komplexität des Frameworks sowie Herausforderung in der Skalierung von Vorgehensweisen aus der strategischen in die operative Projektarbeit gesehen. Außerdem wird es als schwergewichtig und bürokratisch wahrgenommen. (Ebert & Paasivaara, 2017) Zudem basiert SAFe so wie die übrigen bekannten Skalierungsframeworks auf Rahmenbedingungen der Softwareentwicklung.

²² Wörtliche Übersetzung aus Paasivaara et al. (2012)

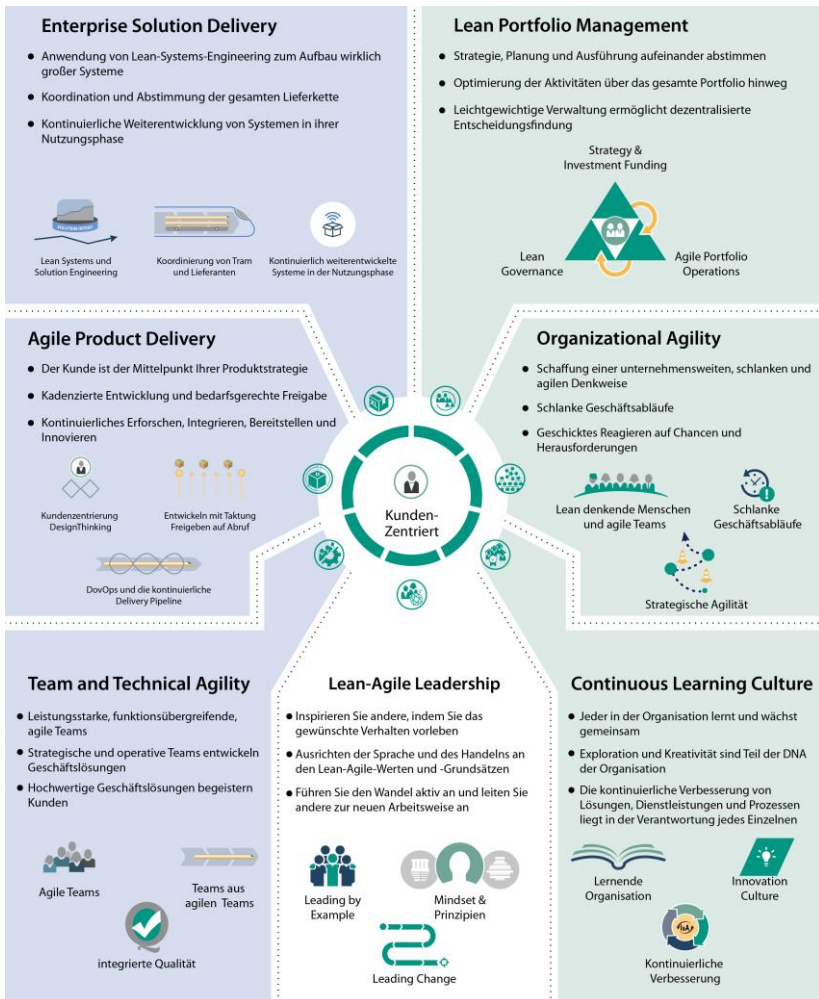


Abbildung 2.21: Die grundlegenden Kompetenzen des SAFe nach Scaled Agile Framework (2021). Eigene Darstellung

Nach der Beschreibung zweier skalierten Frameworks folgt die Darlegung mehrerer hybrider Ansätze. Diese sind in Unternehmen der Mechatronikbranche weiter verbreitet als die skalierten Ansätze. Ein Ansatz zur Integration plangetriebener und agiler Herangehensweisen ist der **Agile-Stage-Gate Hybrid** nach Cooper und Sommer (2016) (Abbildung 2.22). Diese Erweiterung des ursprünglichen *Stage-Gate Ansatzes* (vergleiche Abschnitt 2.2.2) basiert auf neun Elementen – den drei Artefakte *Sprint*, *Daily Scrum* und *Retrospective Meeting*, drei Rollen *Product Owner*, *Prozessmanager* und *Teammitglied* sowie den drei Tools *Product Backlog*, *Sprint Board* und *Burndown Chart*, die Cooper aus Scrum ableitet. Unterschiede zum ursprünglichen Ansatz Scrum definiert Cooper in einer flexiblen Sprintdauer, Ausgliederung des Kundenfeedbacks aus den Sprints in separate Sprints sowie der Aufweichung des Ansatzes *constant delivery*. Cooper verlangt nicht in jedem Sprint die Erstellung eines funktionsfähigen Prototyps. (Cooper & Sommer, 2016)

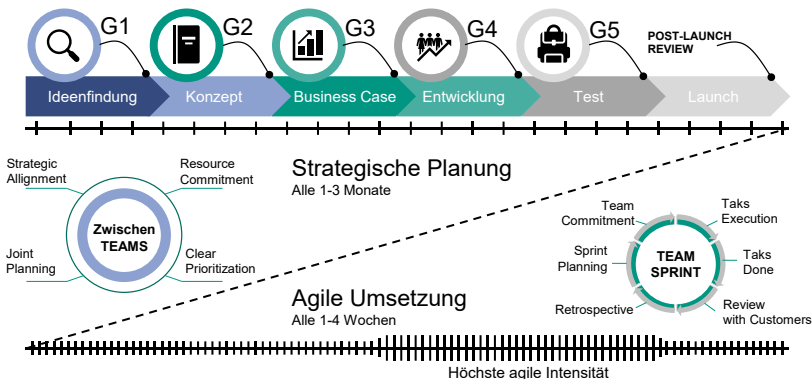


Abbildung 2.22: Agile-Stage-Gate Hybrid nach Cooper und Sommer (2018), eigene Darstellung in Anlehnung an Spahic (2021, S. 64)

Die Phasen ähneln den ursprünglichen des Stage-Gate Ansatzes, wobei die Teams innerhalb der Phasen agile Sprints durchführen und die Phasenergebnisse inkrementell entwickeln. Das Backlog ist die Produktspezifikation, die jedoch keine technische Spezifikation enthält, sondern Kundenanforderungen und Bedarfe. Aus diesem werden die Sprint Backlogs abgeleitet. (Cooper & Sommer, 2018) Zwar konnten erste Fallstudien positive Effekte des Agile-Stage-Gate Hybrids hinsichtlich gesteigerter Reaktionsfähigkeit, Transparenz und Austausch in den Teams identifiziert werden (Sommer et al., 2015), hinsichtlich der frühen und kontinuierlichen Va-

lidierung, der Trennung zwischen Aktivitäten und Phasen in der Planung von Produktentstehungsprozessen (siehe Abschnitt 2.2.4) sowie der gezielten Integration von Produktwissen (siehe Abschnitt 2.1.3) erscheint das Konzept verbesserungsfähig.

Um den Herausforderungen von Entwicklungsprojekten auf unterschiedlichen Projektebenen gerecht zu werden (Kategorisierung siehe Abbildung 2.23), schlagen SCHUH, REBENTISCH ET AL. (2017) ein hybrides Projektformat als **Agile-waterfall hybrid** vor. Hierzu unterteilen sie Projekte in die Kategorien Struktur und Prozess, die wiederum aus Makro- und Mikrosicht zur Planung und Gestaltung von Entwicklungsprojekten verstanden werden können (siehe Abbildung 2.23).

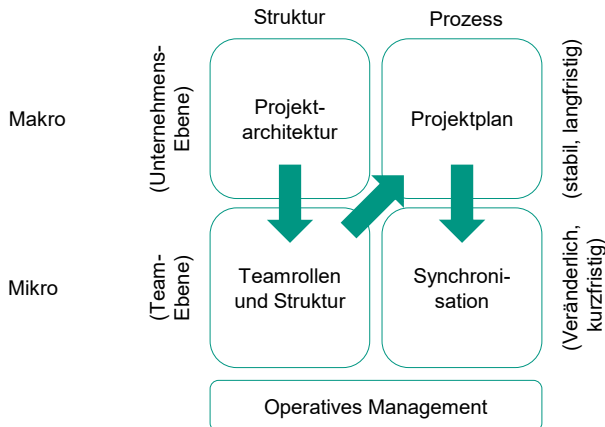


Abbildung 2.23: Kategorisierung von Projektstrukturen zur Einordnung möglicher Herausforderungen und Motivation hybrider Projektstrukturen nach SCHUH, REBENTISCH ET AL. (2017), eigene Übersetzung

Dabei definieren sie die Makrosicht als stabile und langfristig zu verstehende Perspektive auf Projekte aus Unternehmenssicht, sodass auf dieser Ebene die Projektstruktur und der Projektplan definiert werden sollten. Auf der Mikrosicht steht die Definition von Teamrollen und -strukturen, die eine kurzzyklische Synchronisation mit anderen Entwicklungsteams durchführen sollten und hierdurch kontinuierlich neue Planungsgrundlagen für die kurzfristige Prozessgestaltung erarbeiten. (Schuh, Rebentisch et al., 2017) Zur Strukturierung von Entwicklungsprojekten empfehlen sie die Modularisierung von Projekten, Etablierung von geeigneten Architekturen im

Entwicklungsprojekt sowie die Standardisierung von Aktivitäten an den Schnittstellen, um Qualitäts- und Sicherheitsanforderungen zu erfüllen. Hier unterstützen klar plangetriebene Projektstrukturen. Auch der Projektplan auf Gesamtprojektebene sollte einem plangetriebenen Vorgehen folgen. Allerdings sehen Schuh, Rebentisch et al. (2017) von einem klassischen Vorgehen nach dem Stag-Gate Prozess ab, sondern schlagen ein Releaseplanning vor, wodurch die Priorisierung von zu entwickelnden Produktfeatures den Projektplan auf Gesamtprojektebene vorgibt (Schuh et al., 2018). Dieser sollte jedoch bereits zu Projektbeginn definiert werden. (Schuh, Rebentisch et al., 2017)

Auf der operativen Projektebene (Mikro-Sicht) schlagen SCHUH, REBENTISCH ET AL. (2017) ein Entwickeln in Teams vor. Dabei empfehlen sie die Vereinigung von Scrum Master und Entwickler in einer Rolle, da zur methodischen Unterstützung Systemwissen von hoher Relevanz ist. Aus Prozesssicht sollten kurzzyklische Teammeetings wie Daylies sowie regelmäßige Reviews durchgeführt werden. In großen Projekten empfehlen SCHUH, REBENTISCH ET AL. (2017) den hochfrequenten Austausch zwischen den Teams. (Schuh, Rebentisch et al., 2017) Der Ansatz befindet sich in der weiteren Ausgestaltung, wodurch die Realisierung der Vorschläge durch Methoden weiter gefördert werden soll (Schuh et al., 2018).

Konkreter wird Schmidt (2019), der verschiedene Prinzipien und einige Praktiken definiert, mittels derer Entwicklungsteams mit den Herausforderungen physischer Grenzen technischer Systeme umgehen und damit Agilität auch in diesem Kontext realisieren können. In seiner Arbeit **Towards a Method for Agile Development in Mechatronics** beschreibt er ein Framework, innerhalb dessen agile Teams durch die Anwendung seiner Prinzipien verschiedene Effekte²³ im Produktentstehungsprozess erzielen und den folgenden vier Herausforderungen in der Entwicklung mechatronischer Systeme vorbeugen sollen, die Schmidt aus Ovesen (2012) ableitet:

- „Schwierigkeiten, Ergebnisse aufzuteilen
- Entwicklungsaufgaben lassen sich nur schwer zerlegen.
- Es ist schwer, flexibel genug zu sein.
- Schwer abzuschätzende Ressourcen für die Entwicklungsaktivitäten“²⁴

Demgegenüber stellt er die folgenden Prinzipien, die je nach Bedarf realisiert und durch zunächst drei Praktiken umgesetzt werden sollen.

²³ Beispielsweise *frühen Kundenwert, schnelles Lernen, reduziertes Overengineering* oder *erhöhte Transparenz*. Schmidt (2019, S. 95) Eigene Übersetzung

²⁴ Eigene Übersetzung aus SCHMIDT (2019, S. 95)

- „P1: Reflektieren der Wissensbasis
- P2: Jede Iteration ist ein Experiment.
- P3: *Pirtyping*²⁵ zum Lernen
- P4: Unterscheiden zwischen Iterationsarten
- P5: Experimentieren aus einem bestimmten Grund/Zweck
- P6: Verlässliches Feedback
- P7: Verwendung von Teilprojekten/Stichproben, wo immer möglich
- P8: Modularisierung nach Wert
- P9: Aufstrebende, sich entwickelnde Architektur
- P10: Das Projektteam als Intrapreneure“²⁶

Als Praktiken zur Realisierung der Prinzipien empfiehlt Schmidt die *Teleo-morphological Box* – eine Erweiterung des Morphologischen Kastens zur gezielten Identifikation von Kundennutzen und dessen Verknüpfung zu technischen Lösungen – die *Progress Map* – eine Logik zur Entwicklung von Projektplänen und Unterstützung in der Nachvollziehbarkeit von Projektverläufen – sowie die Praktik der *Deck of Options and Option Cards* – eine Praktik zur Visualisierung den Status und das Vorhandensein möglicher alternativer Lösungen über den Projektverlauf hinweg (ähnlich zum KIS – Kontinuierlichen Ideen Speicher in 2.2.4) (Schmidt, 2019, 115ff.).

In einem dynamischen und von Unsicherheiten geprägten Umfeld unterstützt die Kombination aus Prinzipien und Praktiken kleinere Entwicklungsvorhaben, die keiner Skalierung bedürfen (< 50 Mitglieder) und in einem Entwicklungsprojekt realisiert werden können. Für die Umsetzung von Entwicklungsprojekten empfiehlt Schmidt die Betrachtung von Entwicklungsteams als Start-Ups mit definiertem Ziel und festem Budget über eine definierte Zeitdauer. So bleiben finanzielle Risiken kalkulierbar; Projekte lassen sich je nach Verlauf fortführen, pausieren, modifizieren oder abbrechen. Schmidt weist bereits in seiner Arbeit explizit darauf hin, dass die Praktiken hinsichtlich der definierten Prinzipien an den jeweiligen Anwendungskontext angepasst werden müssen – hierbei existiert zum derzeitigen Stand des Frameworks noch keine unterstützende Methodik. (Schmidt, 2019, 94ff.) Um den Ansatz zu erweitern und in die Projektabläufe von Unternehmen in der Mechatronikbranche zu integrieren, empfiehlt Schmidt die Erweiterung um Projektmanagement-bezogene Prinzipien und Praktiken, um beispielsweise Abläufe und Rollen zu definieren und zu planen. Außerdem weist er daraufhin, dass die Prinzipien aus dem Blickwinkel der Verbesserung der Kollaboration zur Förderung von Agilität abgeleitet wurden

²⁵ Schmidt (2019, S. 99) definiert *Pirtyping* als Erweiterung des Prototypingbegriffs mit dem klaren Fokus auf „*Versuch, Wagnis* oder *Vorstoß*“

²⁶ Eigene Übersetzung aus SCHMIDT (2019, S. 95)

und die Eignung der Prinzipien hinsichtlich ihrer Vereinbarkeit mit dem Unternehmensalltag zukünftig sichergestellt werden sollte. (Schmidt, 2019, 119f.)

Basierend auf der Annahme, dass agile Praktiken für die Realisierung agiler Prinzipien im Einklang mit der unternehmensspezifischen Kultur geeignet sein müssen, entwickelte Diebold (2020) seinen **Ansatz für zielgerichtete und kontextspezifische agile Prozessverbesserung** – kurz **ACAPI**²⁷. Für diesen Ansatz ist die Unterscheidung von Agilität in die technische Agilität (Methoden und Praktiken) und die kulturelle Agilität (Werte und Prinzipien). Die Einführung von Agilität in Organisationseinheiten von Unternehmen erfolgt hierbei in einem idealisierten Modell zumeist zunächst über spezifische Methoden und Praktiken (Abbildung 2.24 Phase 1), wodurch Prinzipien und Werte etabliert werden (Abbildung 2.24 Phase 2), die zuletzt reifen und durch eine Weiterentwicklung von Methoden und Praktiken (Abbildung 2.24 Phase 3) gefestigt werden. (Diebold et al., 2015) Um diesen Prozess zu unterstützen, hat Diebold ein Impact Model entwickelt, um Unternehmens- und anwendungsfallspezifische Praktiken hinsichtlich ihrer Eignung zur Unterstützung des jeweiligen Verbesserungsprozesses zu empfehlen. Hierzu hat er eine Sammlung von Prozesscharakteristika gesammelt und diesen Praktiken zugeordnet, die insbesondere relevant für die Verbesserung von Softwareentwicklungsprozessen sind (z. B. *Pair Programming*, *Code Reviews* aber auch *Product Owner*). In seiner Methode werden Anwendende nun dazu angeleitet, anwendungsfallspezifische Ziele einer Prozessverbesserung zu identifizieren und zu priorisieren. Diese werden anschließend den generischen Prozesscharakteristika und damit den geeigneten Praktiken zugeordnet. Zuletzt müssen anwendungsfallspezifische Randbedingungen, wie die Berücksichtigung von Normen gesammelt und den Praktiken zugewiesen werden, wodurch bei der späteren Umsetzung der Praktiken diese Randbedingungen berücksichtigt werden sollen. (Diebold, 2020, 61ff.)

²⁷ „**Approach for goal-oriented and Context-specific Agile Process Improvement**“
Diebold (2020, 61ff.)

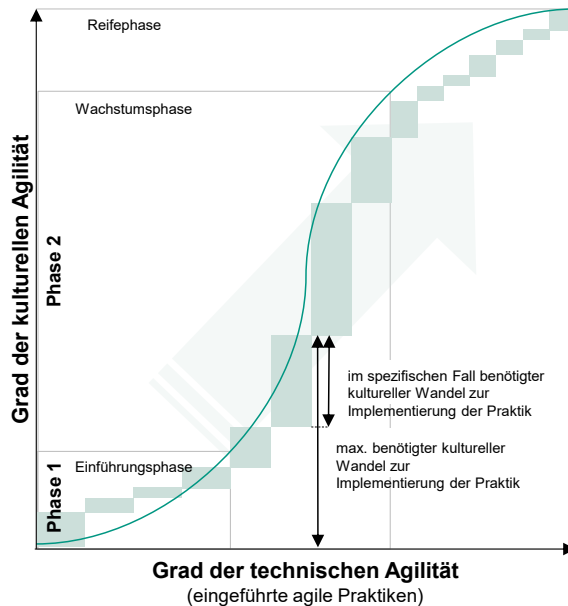


Abbildung 2.24: Zusammenhänge in der Einführung und Realisierung von technischer sowie kultureller Agilität nach Diebold et al. (2015), Eigene Darstellung in Anlehnung an TROST (2020, S. 43)²⁸

Ein weiterer Ansatz für eine bedarfsgerechte Skalierung von Agilität stellt das **efiS-Framework** (Poth, Kottke, Heimann & Riel, 2021) dar. Das Framework zielt darauf ab, die Führung zur Erfüllung der relevanten Rechenschaftspflichten innerhalb eines Unternehmens in agile Arbeitsweisen zu integrieren und die Skalierung agiler Praktiken mittels Coaching-Ansätzen in einem tragbaren Aufwand umzusetzen (Poth, Kottke, Heimann & Riel, 2021). Zentral steht die Identifikation von Produkt- und dienstleistungsspezifischen Qualitätsrisiken und die Definition und Umsetzung von Maßnahmen zum Umgang mit diesen Risiken im Vordergrund (Poth, Kottke, Heimann & Riel, 2021). efiS definiert eine Reihe an Aktivitäten, um die Entwicklung nach Compliance und weiteren Richtlinien auf verschiedenen Ebenen (Team, Pro-

²⁸ Unveröffentlichte Abschlussarbeit (co-betreut)

jekt, Produkt) sicherzustellen (Poth, Kottke, Heimann & Riel, 2021). In der Umsetzung von Entwicklungsprojekten unterstützt das Framework durch die folgenden Handlungsmuster (Poth, Kottke & Riel, 2021):

- Produktteams werden durch systematische Teamentwicklung zur Förderung der Autonomie befähigt (**Empower**).
- Die Identifikation von Qualitätsrisiken soll Produkt- oder Dienstleistungsspezifisch erfolgen (**Focus**).
- Um zuverlässige Wertströme sicherzustellen, sollen Prozesse und Abläufe an den Schnittstellen definiert und hierdurch geschäftsfeldspezifische Regulierungs- und Governance-Anforderungen bedient werden (**Integrate**).
- Fördern des organisatorischen Lernens durch die Skalierung von Wissen über Experten und Teams (**Scale**)

POTH, KOTTKE UND RIEL (2021) schlagen zudem eine Sammlung an Handlungsempfehlungen vor, um die einzelnen Schritte von efiS zu unterstützen. Insbesondere in der Entwicklung von IT-Lösungen, Services im Finanzbereich oder auch Embedded Software eignet sich die Anwendung von efiS (Poth, Kottke, Middelhauve et al., 2021). Erste Fallstudien konnten den positiven Beitrag zur Integration von Anforderungen aus dem Compliance- und Governance-Bereich in die agile Entwicklung sowie zur gezielten Skalierung von Wissen zeigen, wobei der Ansatz zusätzlich Langzeitanalysen unterzogen wird, um die Nachhaltigkeit der einzelnen Praktiken zu untersuchen (Poth et al., 2020; Poth, Kottke, Heimann & Riel, 2021; Poth, Kottke, Middelhauve et al., 2021; Poth, Kottke & Riel, 2021).

Um den Einsatz agiler Elemente in realen Produktentstehungsprozessen und bereits identifizierte Best Practices sowie Herausforderungen im Einsatz von Agilität in der Praxis besser zu verstehen und hierdurch die Grundlage für die spätere Konkretisierung des Forschungsbedarfs zu legen, werden im folgenden Abschnitt verschiedene Studien und deren zentrale Erkenntnisse aus der Analyse von agilen Vorgehensweisen in der Praxis vorgestellt.

2.2.6 Status quo der Anwendung agiler Ansätze in der Praxis

Zur Identifikation von der aktuellen Situation in der praktischen Anwendung von Agilität und agilen Ansätzen werden verschiedene Studien aus der Literatur herangezogen. Insbesondere werden Anwendungsfelder, Verbreitung agiler Methoden, die Motive, das Verständnis von Agilität sowie Potentiale und Herausforderungen in der Entwicklungspraxis aus den Studien abgeleitet. Die Gesamtzahl an Studien im Be-

reich der Anwendung agiler Ansätze ist sehr hoch²⁹. Meist sind es einzelne Fallstudien in einer spezifischen Anwendung in der Praxis, wobei der Fokus der Studien auf der Entwicklung von Software liegt. Um ein übergreifendes Verständnis bezüglich des aktuellen Standes agilen Arbeitens in der Entwicklung mechatronischer Systeme zu gewinnen, werden im Folgenden fünf Studien vorgestellt. Eine hohe Relevanz für den Erkenntnisgewinn bezüglich des agilen Arbeitens in der Mechatronikbranche ist die Studienserie, die seit dem Jahr 2017 durch das Team um Frau Professor Paetzold vom *Institut für Technische Produktentwicklung* an der *Universität der Bundeswehr München* durchgeführt wird³⁰ (Atzberger, Nicklas et al., 2020; Schmidt et al., 2019; Schmidt, Weiss & Paetzold, 2018a). In Tabelle 3 werden die in diesem Abschnitt analysierten Studien gegenübergestellt.

Tabelle 3: Übersicht über Basisinformationen der vorgestellten Studien

Verfasser und Jahr	Ziel	Methode	Anwendungsfeld
DIGITAL.AI (2007-2020)	Bericht bezüglich des Status quo und dessen Veränderung agiler Entwicklung	Durchführung einer jährlich wiederkehrenden Fragebogenstudie	Softwareentwicklung
DIKERT ET AL. (2016)	Identifikation von Herausforderungen und Erfolgsfaktoren in der Implementierung von agilen Ansätzen in skalierten Anwendungen	Systematische Literaturrecherche und Aufbereitung von 40 Case Studies	Softwareentwicklung
GREGORY ET AL. (2015)	Identifikation der Herausforderungen in der Anwendung agiler Ansätze aus Sicht von Anwendenden	Sammlung von Herausforderungen im Zuge von Workshops	Softwareentwicklung
OVESEN (2012)	Beschreibung der Herausforderung agile Methoden in die Entwicklung mechatronischer Systeme zu integrieren	Interviewstudie in Kombination mit Beobachtungen	Integrierte Produktentwicklung

²⁹ Allein die Suche nach dem Term *Agile AND Study* im Titel von Beiträgen liefert in der Datenbank *Scopus* bereits eine Trefferanzahl von 701 (Stand 12.08.2020).

³⁰ Seit dem Jahr 2021 hat Frau Prof. Paetzold die Professur für Virtuelle Produktentwicklung am Institut für Maschinenelemente und Maschinenkonstruktion an der TU Dresden inne.

PAETZOLD (2020; 2019; 2018a)	Entwicklung von Kompetenzen, Herausforderungen und Potentialen in Unternehmen der physischen Produktentwicklung	Durchführung einer jährlich wiederkehrenden Fragebogenstudie	Gemischte Anwendungsfelder mit Fokus auf den Bereich der physischen Produktentwicklung
---------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------

Die aufgeführten Studien decken die Bereiche der agilen Entwicklung von reiner Software (Dikert et al., 2016) über die agile Entwicklung von Software in Unternehmen der Mechatronikbranche (digital.ai, 2020), der integrierten agilen Entwicklung von Software in mechatronischen Systemen (Ovesen, 2012) bis hin zur agilen Entwicklung des gesamten mechatronischen Systems (Atzberger, Nicklas et al., 2020) ab. Hierbei existiert in der Literatur eine Vielzahl an Studien, die den Erfolg agiler Softwareentwicklung untersuchen, während der Anteil an Studien, die die agile Entwicklung mechatronischer Systeme untersuchen, aufgrund der geringeren Erfahrung niedriger ist. Im weiteren Verlauf der Forschungsarbeit ist somit stets zu hinterfragen, auf Basis von Sachverhalten welchen Anwendungsbereichs Erkenntnisse gewonnen wurden und ob diese somit das Kriterium der uneingeschränkten Übertragbarkeit erfüllen. Sofern letzteres nicht der Fall ist, erfolgt umgehend ein Hinweis sowie die Begründung der Einschränkung.

Im 14th *State of Agile Report* wurde gezeigt, dass Scrum die meist genutzte agile Methode in der Softwareentwicklungspraxis ist. Hybride Methoden und die Kombination aus Scrum und Extreme Programming werden vereinzelt angewandt. (digital.ai, 2020) Dickert et al. liefern mit ihrer Studie ähnliche Erkenntnisse. Auch in der Entwicklung mechatronischer Systeme stellt Scrum die meist genutzte agile Methode dar. 90% der Studienteilnehmenden gaben in der Frage an, dass sie nach Scrum entwickelten. Beachtlich sind jedoch hier auch die hohen Anteile von Kanban (75%) und Design Thinking (52%). Zudem gaben 39% der Teilnehmenden an, ein eigenes agiles Vorgehensmodell zu nutzen. (Atzberger, Nicklas et al., 2020, S. 14)

Die zentralen Motive für den Einsatz agiler Ansätzen sind: (Atzberger, Nicklas et al., 2020, S. 16; digital.ai, 2020, S. 9; Ovesen, 2012, 68ff.):

- Beschleunigung der Bereitstellung von Software
- Verbesserung der Softwarequalität
- Reduktion des Projektrisikos
- Verbesserung der Projektsichtbarkeit
- Verringerung der Produktentwicklungszeit bei erhöhter Kundenzufriedenheit
- Verbesselter Umgang mit steigender Produktkomplexität

- Verbesserter Umgang mit erhöhten Neuentwicklungsanteilen
- Verbesserter Umgang mit Änderungen
- Vermeidung von Kommunikationsproblemen
- Steigerung der Effizienz im Entwicklungsprozess
- Verbessertes Ressourcenmanagement im Vergleich zur Matrixorganisation
- Verschwendungen im Prozess reduzieren
- Übertrag des Erfolgs aus der Domäne der Softwareentwicklung in andere Domänen
- Erhöhung der Transparenz im Entwicklungsteam

Schließlich lassen sich in den betrachteten Studien bezüglich der Motivatoren zum Einsatz agiler Ansätze eindeutige Ähnlichkeiten identifizieren. Eine über die verschiedenen Studien hinweg durchgängige Begründung für den Einsatz agiler Ansätze wird im verbesserten Umgang mit Dynamik in den Anforderungen an die entwickelten Systeme gesehen. Zudem steht auch die Steigerung der Kundenzufriedenheit oftmals im Vordergrund der Motivatoren (digital.ai, 2020; Ovesen, 2012). Ein Unterschied zwischen der Entwicklung von Software im Vergleich zur Entwicklung mechatronischer Systeme ist die häufige Angabe der Erwartung, durch den Einsatz agiler Ansätze schneller funktionsfähige Software erstellen zu können. Dieser oder ein vergleichbarer Aspekt wird in der Branche der Mechatroniksystementwicklung nicht genannt. Jedoch wird in der Entwicklung mechatronischer Systeme ein erhöhter Neuentwicklungsanteil im Produkt als Grund für den Einsatz agiler Ansätze gesehen. Dieser kann zu erhöhten Unsicherheiten im Projekt führen sowie Tendenzen zu einem erhöhten Entwicklungsrisiko implizieren (Albers, Rapp et al., 2017).

Das Verständnis in der Praxis bezüglich Agilität wird lediglich in der Münchner Studie explizit erfragt. So assoziierten die Teilnehmenden insbesondere die Worte *Flexibilität*, *Transparent* und *Kundenorientiert* (siehe Abbildung 2.25). In der Bewertung der vorgegebenen Ziele, die mit dem Einsatz agiler Ansätze erreicht werden sollen, werden die Aspekte des *verbesserten Umgangs mit Wandel und Unsicherheiten* sowie das *Generieren von Produkten mit optimalem Kundenwert* als besonders relevant gewichtet. Vereinzelt wurde die *Verringerung von Entwicklungszeiten* als ein wichtiges Ziel, das durch den Einsatz von agilen Ansätzen verfolgt wird, angesehen. (Atzberger, Nicklas et al., 2020, S. 11)



Abbildung 2.25: Assoziationen mit agiler Entwicklung (Atzberger, Nicklas et al., 2020, S. 10)

Um den Einsatz und die Wirkung agiler Ansätze in den Prozessen der Mechatroniksystementwicklung zielgerichtet zu verbessern, ist ein Verständnis der Herausforderungen, die in der Anwendung agiler Ansätze auftreten, unerlässlich. Dabei existieren neben den domänenunabhängigen Herausforderungen zusätzlich Herausforderungen, die spezifisch in der Entwicklung mechatronischer Systeme auftreten und auf deren Eigenschaften oder die Notwendigkeit der Synchronisation der Domänen zurückzuführen sind (Ovesen, 2012). In ihrer Studie identifizieren Dikert et al. die folgenden Herausforderungscluster (Dikert et al., 2016), die zudem um das Cluster der für die Mechatroniksystementwicklung spezifischen Herausforderungen erweitert wurden (Atzberger, Nicklas et al., 2020):

- Schwierigkeiten in der Implementierung agiler Ansätze
- Integration von nicht an der Entwicklung beteiligten Bereichen
- Resistenz gegenüber Änderungen
- Herausforderungen im Anforderungsmanagement
- Hürden durch Hierarchien und Organisationsstrukturen
- Koordinationsschwierigkeiten in einer Multi-Team-Umgebung
- Herausforderungen in der Sicherstellung von Ergebnisqualität
- Spezifische Herausforderungen in der Mechatroniksystementwicklung

ATZBERGER UND PAETZOLD (2019) clustern die zentralen Herausforderungen agiler Ansätze zur Entwicklung mechatronischer Systeme in die vier Bereiche der *Randbedingungen mechatronischer Systeme* mit den im Verhältnis zur Software längeren Entstehungszeiten, *Mindset*, *Skalierung* und den *Umgang mit verteilten Teams*.

Da der gezielte Einsatz von Produkt- und Prozesswissen in der Mechatroniksystementwicklung ein zentraler Erfolgsfaktor ist, muss dieses auch in der agilen Entwicklung mechatronischer Systeme genutzt werden. Im folgenden Abschnitt wird ein Ansatz vorgestellt, der die Nutzung von Produkt- und Prozesswissen mit den Vorteilen agiler Entwicklung kombiniert und harmonisierend mit der anwendungsfall-spezifischen Kultur in die jeweiligen Prozesse einbringt.

2.2.7 Ansatz des ASD – Agile Systems Design

Da die erfolgreiche Anwendung agiler Ansätze in der Entwicklung mechatronischer Systeme von ihrer Eignung in der jeweiligen Unternehmenskultur abhängt (Diebold et al., 2015), ist ein einfaches Einführen bestehender agiler Ansätze aus der Softwareentwicklung ohne Anpassung an die Randbedingungen nicht zweckmäßig. Ohne die Integration bestehenden Produkt- und Prozesswissens in der Anwendung agiler Vorgehensweisen sind diese in der Entwicklung mechatronischer Systeme nicht zielführend, da beispielsweise Entwicklungsrisiken übersehen werden (Albers, Rapp et al., 2017). Auf der anderen Seite ist die Reaktionsfähigkeit von Organisationseinheiten eine zentrale Eigenschaft, um mit Unsicherheiten in Projekten umgehen zu können. Hierzu wurden in über 20 Jahren Forschung an der *KaSPro – Karlsruher Schule für Produktentwicklung* Methoden, Prozesse und Modelle Hand in Hand mit der gezielten Entwicklung von Systemen generiert, mittels derer Kernaspekte agiler Entwicklung unter den Rahmenbedingungen von Unternehmen der Mechatronikbranche realisiert werden können (Bursac, 2016, 21ff.). Die situations- und bedarfsgerechte sowie gezielt hervorgerufenen Wechselwirkungen dieser Elemente zur Unterstützung des Handlungssystems im Produktentstehungsprozess wird im Ansatz des **ASD – Agile Systems Design** beschrieben (Albers, Heimicke, Spadinger et al., 2019a; Albers, Heimicke, Walter et al., 2018).

Definition 12: ASD – Agile Systems Design

„ASD - Agile Systems Design ist ein ganzheitlicher, strukturierender Ansatz zur agilen Entwicklung mechatronischer Systeme, der zugehörigen Produktstrategie, Validierungssystemen und Produktionssystemen, bestehend aus Denkweisen, Methoden und Prozessen der PGE - Produktgenerationsentwicklung.“
(Albers, Heimicke, Walter et al., 2018) übersetzt nach IPEK Glossar

Der Ansatz fußt auf 9 Grundprinzipien, die die elementaren Annahmen und Zusammenhänger der in der *KaSPro* erforschten und in der Anwendung erprobten Methoden, Prozesse und Modelle repräsentieren. Diese Grundprinzipien wurden durch

ALBERS, HEIMICKE UND TROST (2020) hinsichtlich ihrer Effekte im Produktentstehungsprozess analysiert und werden im Folgenden aufgeführt:

1. *Die Entwickelnden stehen im Zentrum der Produktentstehung.*
 - a. Entwicklung in cross-funktionalen Teams einschließlich mitarbeiterinnen- und mitarbeiterzentrierter Führung
 - b. Bereitstellung von intuitiven, auf die Situation, Kompetenzen und Anforderungen der Entwickler zugeschnittenen Methoden, Prozessen und Werkzeugen
 - c. Schaffung von Rahmenbedingungen für die Förderung von Kreativität (Freiräume, Referenzen, Infrastrukturen, ...)
2. *Jeder Produktentstehungsprozess ist einzigartig und individuell.*
 - a. Ermöglichung einer projektspezifischen Planung des Entwicklungsprozesses (kein Kochrezept)
 - b. Nutzung vorhandenen Prozesswissens in der Projektplanung
 - c. Nutzung von Mechanismen zur Kommunikation und transparenten Bereitstellung der individuellen Projekt Ziele
3. *Agile, situations- und bedarfsorientierte Kombination aus strukturierenden und flexiblen Elementen*
 - a. Schaffung von übergeordneten Strukturen und Definition von generischen Ergebnissen zu Beginn des Projekts
 - b. Ermöglichen von Iterationen oder Sequenzen auf verschiedenen Prozessebenen (Projekt, Phasen, Aktivitäten, Methoden)
 - c. Einsatz von Mechanismen zur Identifizierung der Notwendigkeit (Unsicherheiten, Komplexität, Planungsmangel Stabilität) von reifegradspezifischen Iterationen
4. *Jedes Prozesselement kann im Systemtripel verortet werden und jede Aktivität basiert auf den grundlegenden Operatoren Analyse und Synthese.*
 - a. Ermöglichung der Auswahl von Methoden und Prozessen in Abhängigkeit vom Reifegrad des Ziel- und Objektsystems
 - b. Schaffung von Rahmenbedingungen, die die gezielte Durchführung von Iterationen fördern/unterstützen
 - c. Ermöglichung einer Ko-Evolution von Zielen und Objekten durch wechselseitig durchgeführte Synthese- und Analyseaktivitäten
5. *Alle Aktivitäten der Produktentstehung sind als Problemlösungsprozess zu verstehen.*
 - a. Unterteilung der Aktivitäten in strukturierte Teilaktivitäten
 - b. Einführung einer einheitlichen Strukturierung von Problemlösungsprozessen
 - c. Schaffung eines hohen Maßes an Situations- und Problembewusstsein durch ein einheitliches Problemverständnis

6. *Jedes Produkt wird auf der Basis von Referenzen entwickelt.*
 - a. Nutzung des vorhandenen Produktwissens zur Weiterentwicklung des Validierungs- und Produktionssystems
 - b. Einsatz von Mechanismen zur fundierten Bewertung von Entwicklungsrisiken durch Produktwissen
 - c. Ermöglichung der Nutzung des Kreativitätspotenzials von Entwicklern durch gezielte Stimulation im Prozess (z.B. TRIZ)
7. *Produktprofil, Invention und Geschäftsmodell bilden die notwendigen Bestandteile des Innovationsprozesses.*
 - a. Ausrichtung der Produktentwicklung auf die Erfüllung von Kundinnen-, Kunden-, Anwendenden- und Anbietendennutzen (Produktprofil)
 - b. Gezielter Einsatz von Kreativitäts- und Konstruktionsmethoden zur technischen Umsetzung von neuen Lösungen zur Erfüllung von Zielsystemen
 - c. Frühzeitige und gezielte Ausrichtung des Lösungsraums für Erfindung und Geschäftsmodell durch das Produktprofil
8. *Die frühzeitige und kontinuierliche Validierung dient dem ständigen Abgleich zwischen dem Problem und seiner Lösung.*
 - a. Validierung des in der Entwicklung befindlichen Systems als Teil der übergeordneten Systeme, der Systemumgebung und der Systemanwendenden anhand spezifischer Manöver
 - b. Kontinuierliche Überwachung der Erfüllung von Kundinnen-, Kunden-, Anwendenden- und Anbietendennutzen während des gesamten Entwicklungsprozesses, z.B. durch Einbindung in Q-Gates
 - c. Sicherstellung frühzeitiger Validierung der Entwicklungsrichtung, Minimierung von Risiken und Vermeidung später Änderungen
9. *Für situations- und bedarfsorientierte Unterstützung im Entwicklungsprojekt müssen Methoden und Prozesse skalierbar, fraktal und anpassbar sein.*
 - a. Gezielte Skalierung und Nutzung von Methoden, Denkweisen und Prozessen analog zur betrachteten Systemebene im Rahmen des System of Systems Engineerings
 - b. Ermöglichung der Skalierung von Denkweisen, Methoden und Prozessen in Abhängigkeit von der Größe/dem Umfang des Entwicklungsprojekts zu Beginn des Projekts
 - c. Beseitigung von Schnittstellenproblemen über Team-/Abteilungs-/Firmengrenzen hinweg

Nicht alle Prinzipien sind in jedem Produktentstehungsprozess und jeder Entwicklungssituation von gleicher Relevanz. Vielmehr muss die Realisierung der Prinzipien

durch geeignete Methoden, Prozesse und Modelle im Einklang mit den jeweils im Handlungssystem vorliegenden Bedarfen erfolgen. Daher ist die Anwendung der ASD-Prinzipien nicht als Kochrezept oder zum Selbstzweck zu verstehen. (Albers, Heimicke, Spadinger et al., 2019b) Die Anwendung der ASD-Grundprinzipien in der Auflösung des Produktentstehungsprozesses lässt beispielsweise zu, diesen auf verschiedenen Prozessebenen zu modellieren und auf diesen Ebenen iterative und sequenzielle Denkweisen zu nutzen (siehe Abbildung 2.26).

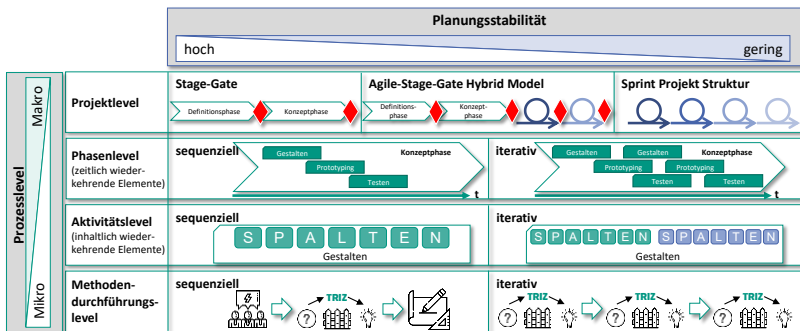


Abbildung 2.26: Auflösungsgrade des Produktentstehungsprozesses nach ASD – Agile Systems Design unter Kombination iterativer und sequenzieller Vorgehensweisen auf verschiedenen Projektebenen nach ALBERS, HEIMICKE, SPADINGER ET AL. (2019b)

Innerhalb der einzelnen Prozessebenen werden unter kontinuierlichem Einbezug des Referenzsystems entsprechende Entwicklungsgenerationen geplant und einer kontinuierlichen Validierung unterzogen (Wessels et al., 2019). Hierdurch wird es notwendig, das Validierungssystem im Produktentstehungsprozess mitzugestalten (Albers, Reiß, Bursac & Richter, 2016). Hierbei eignet sich ebenfalls die Nutzung des Referenzsystemgedankens in Produktentstehungsprozessen, wodurch beispielsweise Aufwände zum Aufbau bereits in Vorgängergenerationen genutzter Validierungskonstellationen robust abgeschätzt und im Produktentstehungsprozess eingeplant werden können (Albers, Rapp, Peglow et al., 2019).

In der *KaSPro – Karlsruher Schule für Produktentwicklung* existiert eine Reihe an Methoden, Prozessen und Modellen, die Handlungssysteme in der Entwicklung nach dem ASD-Ansatz unterstützen. Ein Auszug dieser ist in Abbildung 2.27 aufgeführt, wobei die Clusterung durch den Autor vorgenommen wurde.

Diese bilden den Auszug aus der gesamten KaSPro, mittels dessen die Gestaltung von Entwicklungsprozessen durch eine Kombination aus agilen und plangetriebenen Elementen möglich ist und hierdurch die Grundprinzipien des ASD – Agile Systems Design realisiert werden. Diese Elemente sind in Abbildung 2.27 durch den Autor anhand neun übergreifender Themenblöcke geclustert. Die Elemente lassen sich zudem im Glossar des Instituts³¹ finden. Allerdings ist die Zuordnung zwischen den Elementen und den Grundprinzipien nicht 1:1, wodurch in der Regel die Effekte mehrerer Prinzipien in unterschiedlicher Ausprägung durch die einzelnen Elemente realisiert werden.

Der Ansatz des ASD – Agile Systems Design mit seinen neun Grundprinzipien, den verschiedenen Auflösungsgraden des Produktentstehungsprozesses und den Methoden, Prozessen und Modellen der KaSPro bildet eine zweckmäßige Grundlage zur Realisierung von Agilität im Produktentstehungsprozess³². Eine Herausforderung besteht derzeit darin, diese Elemente in Abhängigkeit der Bedarfe des Handlungssystems gezielt in den Produktentstehungskontext einzuführen und hierdurch das Handlungssystem entsprechend der SGE – System Generations Entwicklung kontinuierlich zu verbessern.

³¹ [Glossar der KaSPro \(https://www.ipek.kit.edu/mkl/index.php/Kategorie:Glossar\)](https://www.ipek.kit.edu/mkl/index.php/Kategorie:Glossar)

³² Bereits BURSAC (2016, 21ff.) beschrieb die Eignung der zentralen Elemente der KaSPro zur Beschreibung und Gestaltung agiler Produktentstehungsprozesse.

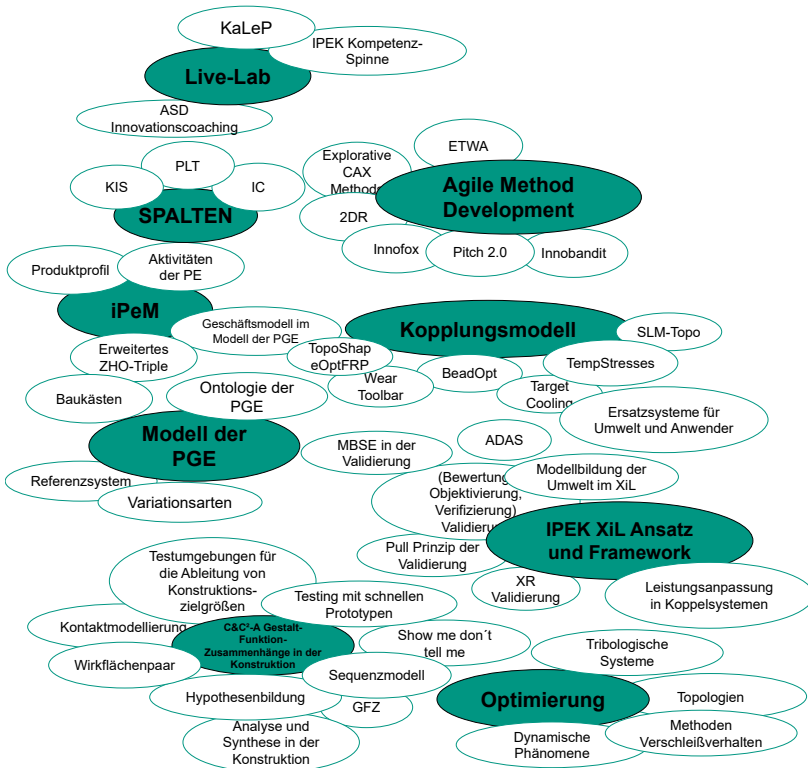


Abbildung 2.27: Ausgewählte Elemente der KaSPro (weiß) in übergreifende Cluster (grün) eingegliedert. Fokus sind Elemente zur Gestaltung und Unterstützung integrierter Produktentstehungsprozesse. Quelle: Literaturdatenbank des IPEKs Stand 2019

2.2.8 Zwischenfazit Ansätze in der Produktentwicklung

Die Komplexität von Produktentstehungsprozessen erfordert den Einsatz von Entwicklungs- und Kollaborationsmethoden sowie Prozessmodellen zur Planung und Koordination dieser Prozesse. Grundsätzlich lassen sich in der Koordination von Produktentstehungsprozessen agile und plangetriebene Ansätze unterscheiden (siehe

Abschnitt 2.2.1). Plangetriebene Ansätze sind über viele Jahre hinweg in der Entwicklung mechatronischer Systeme etabliert, bieten Stabilität, Rechenschaftsfähigkeit und den Einbezug von Produktwissen. Aufgrund verschiedener Eigenschaften, beispielsweise der Notwendigkeit, Anforderungen zu Prozessbeginn zu definieren, wirken sie jedoch schwerfällig gegenüber Änderungen im Entwicklungskontext (siehe Abschnitt 2.2.2). Demgegenüber stehen agile Ansätze, die seit dem Jahr 2001 zunehmend in Softwareentwicklungsprojekten eingesetzt werden und vereinzelt, jedoch ebenfalls zunehmend in der Entwicklung mechatronischer Systeme Anwendung finden. Sie ermöglichen eine gesteigerte Reaktionsfähigkeit von Organisationseinheiten, enge Kollaboration im Team und mit Kundinnen, Kunden und Anwendenden sowie eine fortlaufende, kurzzyklische Planung, Entwicklung und Validierung. Allerdings weisen sie Schwächen im Einsatz von Produkt- und Prozesswissen sowie in der Berücksichtigung weiterer notwendiger Rahmenbedingungen von Unternehmen der Mechatronikbranche z. B. der Koordination der integrierten Entwicklung auf. (siehe Abschnitt 2.2.3). Diesen Zusammenhang zwischen der Entwicklung verschiedener Produktgenerationen, dem Validierungssystem, dem Produktionssystem und der Unternehmensstrategie beschreibt das Metamodell *iPeM – integriertes Produktentstehungs-Modell*. Durch die Trennung der Modellelemente *Aktivitäten* und *Phasen* ermöglicht es die Beschreibung paralleler und iterativer Aktivitäten, ohne die zeitlichen Regeln in der Projektplanung zu verletzen. Zudem stellt es Problemlösungsaktivitäten zur Beschreibung der operativen Ebene im Produktentstehungsprozess bereit. Das iPeM eignet sich damit, mittels seiner Ontologie unternehmensspezifische Entwicklungsprojekte zu beschreiben und entsprechende Prozesse zu planen und zu koordinieren (siehe Abschnitt 2.2.4). Diese anwendungsfallspezifische Planung und Koordination nehmen Unternehmen oftmals mittels Elementen aus der agilen in Kombination mit Elementen aus der plangetriebenen Prozessgestaltung wahr. Die entstehenden Rahmenwerke werden jedoch zumeist als sehr komplex und wenig Mensch-zentriert wahrgenommen und berücksichtigen selten den Einbezug bestehenden Produkt- und Prozesswissens (siehe 2.2.5). Trotzdem kann aus verschiedenen Studien ein zunehmendes Interesse von Entwicklungsteams in der Mechatronikbranche erkannt werden, agile Elemente in ihren Prozessen einzusetzen. Allerdings ergeben sich aus der Anwendung agiler Ansätze in der Entwicklung mechatronischer Systeme eine Reihe an Herausforderungen, die einerseits auf die physischen Eigenschaften technischer Systeme und andererseits auf organisationale Rahmenbedingungen in den Unternehmen zurückzuführen sind (siehe Abschnitt 2.2.6). Ein Ansatz, der die Randbedingungen und Werte in Unternehmen der Mechatronikbranche berücksichtigt und agile Elemente in geeigneter Kombination mit plangetriebenen Elementen unter der grundlegenden Betrachtung von Produktentstehungsprozessen nach dem Modell der PGE – Produktgenerationsentwicklung in das Handlungssystem einbringt, ist der Ansatz des ASD – Agile Systems Design. Er stellt Organisationseinheiten neun Grundprinzipien

bereit, die durch den Einsatz verschiedener Praktiken im Produktentstehungsprozess realisiert werden. Dies erfolgt in jedem Anwendungsfall unterschiedlich, da die jeweiligen Bedarfe des Handlungssystems divergieren. Jedoch bedarf es einer Methodik zur anwendungsfallspezifischen Auswahl, Anpassung und Integration geeigneter Methoden, Prozesse und Modelle in das Handlungssystem, um auch zukünftig den Anforderungen der Wertschöpfung im Umfeld des ASE gerecht zu werden (siehe Abschnitt 2.2.7). Die Entwicklung und Evaluation dieser Methodik ist Kern der vorliegenden Forschungsarbeit.

3 Zielsetzung der Arbeit

In diesem Kapitel wird zunächst die Zielsetzung des Forschungsvorhabens aus einem explizierten Forschungsbedarf hergeleitet. Zur Erreichung der Zielsetzung wird eine zentrale Forschungshypothese formuliert und in Forschungsfragen aufgegliedert (siehe 3.1). Neben der inhaltlichen Konkretisierung des Forschungsprofils erfolgt in diesem Kapitel die Einordnung des Forschungsvorhabens in die übergeordnete Forschungsmethodik, die Beschreibung von relevanten empirischen Methoden sowie die Darstellung der Forschungsumgebung (siehe 3.2).

3.1 Zielsystem der Forschungsarbeit

Auf Grundlage der Kenntnis über die Herausforderungen in der Unterstützung des Produktentstehungsprozesses (Abschnitt 2.1) und mögliche Ansätze zur Realisierung der Unterstützung der Produktentstehung (Abschnitt 2.2) wurden verschiedene Studien durchgeführt, deren Erkenntnisse unter Federführung des Autors im Rahmen von Fachkonferenzen oder Fachzeitschriften publiziert wurden (Heimicke, Duehr et al., 2021; Heimicke, Ng et al., 2021; Heimicke, Spahic et al., 2021). Zudem wurden die Themen in durch den Autor co-betreuten Abschlussarbeiten vertieft (Bramato, 2021; Krüger, 2020; Ng, 2020; Schürbüscher, 2020; Spahic, 2021)³³.

3.1.1 Forschungsbedarf und Zielsetzung

Über 20 Jahre nach der Verschriftlichung des *agilen Manifests der Softwareentwicklung* und der erfolgreichen Anwendung agiler Methoden in unterschiedlichen IT-Projekten steigt das Interesse an einer zunehmenden Integration agiler Ansätze in die Prozesslandschaft von Entwicklungsabteilungen in Unternehmen der Mechatronikbranche. So zeigt eine durch Frau Professor Paetzold jährlich durchgeführte Studie zur Ermittlung des Status Quo der agilen Entwicklung mechatronischer Systeme einen klaren Trend der Zunahme in der Anwendung agiler Praktiken in der Mechatronikbranche (Schmidt et al., 2019, 48ff.; Schmidt, Weiss & Paetzold, 2018a, 42ff.). Zwar ist das Angebot an agilen Ansätzen reichlich (siehe 2.2.3 und 2.2.5), mit zunehmender Erfahrung in ihrer Anwendung zur Entwicklung mechatronischer Sys-

³³ Unveröffentlichte Abschlussarbeiten (co-betreut)

teme steigt jedoch die Klarheit über die Herausforderungen, die diese Ansätze aufgrund ihres Ursprungs in der Softwareentwicklung in der Entwicklung mechatronischer Systeme hervorrufen (Schmidt et al., 2019, 35ff.). Daneben existieren unabhängig von der Domäne, in der agile Ansätze angewendet werden, weitere Herausforderungen und Zielkonflikte (Dikert et al., 2016).

Zielkonflikt in der Unterstützung von Entwicklungsprozessen

Generell sind die Anforderungen an Ansätze zur Unterstützung des Produktentstehungsprozesses divergent (Wynn & Clarkson, 2018). Dies führt zu Zielkonflikten (siehe Abbildung 3.1), die sich unter anderem aus der Divergenz von Anforderungen an die Handlungssysteme der Produktentstehung ergeben, die aus den dynamischen Umfeldeigenschaften auf der einen und trägen Organisationseigenschaften auf der anderen Seite resultieren (vgl. Abs.2.1.4). Zentrale Anforderungsbereiche, die hiervon betroffen sind und aus denen gegenläufige Anforderungsausprägungen an Prozessmodelle gestellt werden, sind (Schürbüscher, 2020)³⁴:

- Der Grad des Kundinnen-, Kunden- und Anwendendeneinbezugs
- Der Grad des Einbezugs verschiedener Fachbereiche
- Der Grad der Adaptivität von Prozessmodellen
- Der Grad der Änderungsmöglichkeit von Produkthanforderungen
- Der Grad der Flexibilität Validierungszeitpunkten
- Der Grad des Einbezugs von Normen und Standards
- Der Grad des notwendigen Dokumentationsumfangs

In Abbildung 3.1 sind die Anforderungsausprägungen aufgeführt, die jeweils aus den dynamischen Eigenschaften im Entwicklungsumfeld sowie aus den Eigenschaften des Handlungssystems, die Trägheit erzeugen, resultieren. Die entsprechenden Anforderungen werden an den Produktentstehungsprozess bzw. dessen Ausgestaltung gestellt.

³⁴ Unveröffentlichte Abschlussarbeit (co-betreut), in der die Anforderungen an Ansätze zur Unterstützung von Produktentstehungsvorhaben identifiziert wurden, die aus den Bedarfen nach Flexibilität und Struktur von Handlungssystemen als Resultat aus Dynamik des Umfeldes und Trägheit von Organisationseinheiten bestehen.

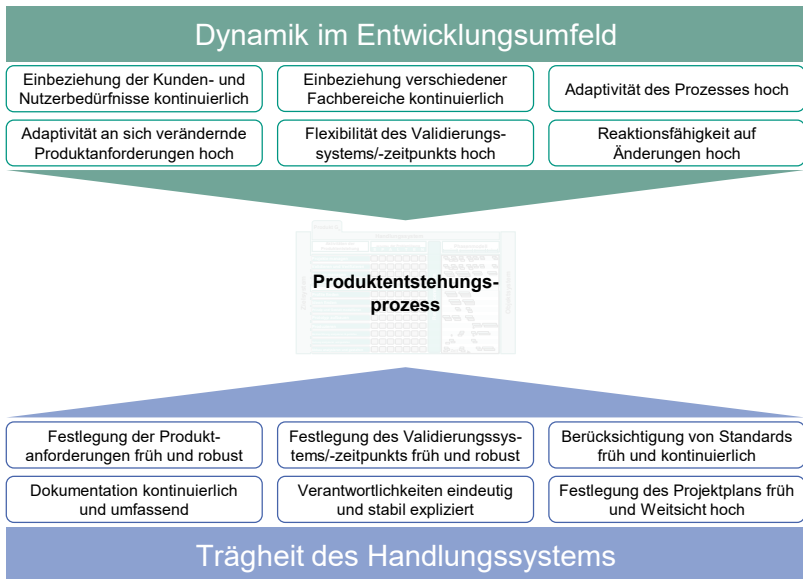


Abbildung 3.1: Ausprägungen der Anforderungen an den Produktentstehungsprozess aus den Ursachen der Dynamik und der Trägheit. Eigene Darstellung in Anlehnung an Schürbüscher³⁵ (2020, S. 113)

Zudem sind die Ziele, die explizit mittels agiler Ansätze zur Entwicklung mechatronischer Systeme auf unterschiedlichen Organisationsebenen erreicht werden sollen, nicht einheitlich. Die Befriedigung der Gesamtheit aller Anforderungen an eine Unterstützung des Produktentstehungsprozesses durch den Einsatz eines einzelnen Ansatzes erscheint aufgrund der Zweckgebundenheit von Prozessmodellen und Methoden nicht möglich (Gericke et al., 2017; Wynn & Clarkson, 2018). Die Analyse etablierter Ansätze aus den Bereichen Agilität, Plangetriebenheit sowie Hybrid hinsichtlich der Befriedigung dieser Anforderungen zeigt, dass derzeit zwar kein Ansatz existiert, der allen Anforderungen und Zielen zur Unterstützung des Produktentstehungsprozesses genügt (siehe vereinfachte Abbildung hierzu in Anhang B sowie Schürbüscher (2020, 113ff.)³⁴), Ansätze wie das iPeM als Metamodell im ASD – Agile Systems Design, der Agile-Stage-Gate-Hybrid nach Cooper oder auch die VDI 2221 eine große Zahl an Anforderungen abdecken. Da jedoch kein Ansatz

³⁵ Unveröffentlichte Abschlussarbeit (co-betreut)

alle Anforderungen bedient, ist eine Kombination von Elementen notwendig. Zudem muss diese Kombination an die Bedarfe des jeweiligen Anwendungsfalls angepasst werden. Initial lässt sich daher folgender Forschungsbedarf explizieren.

Es fehlt ein Ansatz, der Handlungssysteme in der Produktentstehung im Umgang mit Dynamik im Entwicklungsumfeld unter Berücksichtigung der notwendigen Anforderungen an die Entwicklung mechatronischer Systeme, deren Berücksichtigung Trägheit erzeugt, unterstützt.

Zur Konkretisierung des Forschungsbedarfs wurde in der durch den Autor betreuten Abschlussarbeit Spahic (2021)³⁶ eine explorative Interviewstudie durchgeführt, um Herausforderungen in der Implementierung und Anwendung agiler Ansätze in der Praxis zu identifizieren.

Die Zielsetzung dieser Studie war *die Identifikation von Herausforderungsklustern in der Anwendung und Durchführung agiler Vorgehensweisen zur Entwicklung mechatronischer Systeme*³⁷. Befragt wurden 13 Fachleute in der Produktentwicklung davon 4 Agile Coaches und 2 Unternehmensberatende. Die Interviews wurden nach Einverständnis der Teilnehmenden aufgezeichnet, transkribiert und schlussendlich kondensiert, wobei eine deduktive sowie theoriegeleitete Codierung genutzt wurde, um Herausforderungskuster und deren Unterkategorien zu identifizieren.

So ließen sich beispielsweise in der Kategorie *Anwendung agiler Elemente* unter anderem ein *inkonsistentes Agilitätsverständnis* in den Organisationen, Schwierigkeiten der *Übertragbarkeit des Inkrementverständnisses* in die Entwicklung mechatronischer Systeme sowie mangelhafte Methodenkompetenz zur *Integration von Kundeninnen und Kunden*³⁸ in die Entwicklungsprozesse als Herausforderungen im agilen Arbeiten zur Entwicklung mechatronischer Systeme identifizieren (siehe hierzu auch Ovesen (2012) oder Schmidt. et al. (2017)).

Bezüglich der Einführung agiler Elemente treffen neun der 13 Fachleute die Aussage, dass die Einführung für jeden Anwendungsfall individuell sein muss, da das alleinige Einführen und Anwenden von bestimmten Techniken wie z. B. Scrum nicht

³⁶ Unveröffentlichte Abschlussarbeiten (co-betreut)

³⁷ Die Studie wurde in der durch den Autor betreuten studentischen Abschlussarbeit Spahic (2021) unter Nutzung der Technik der *Qualitativen Inhaltsanalyse* nach Mayring und Fenzl (2019) durchgeführt (siehe Abschnitt 3.2).

³⁸ „Aber das kommt in so einem Hardwareprojekt, wo wir von zwei, drei Jahren Entwicklungszeit sprechen, [...] erst relativ spät, weil die [...] auch einen Hardwareaufbau dafür brauchen, da müssen sie einen Invest dafür haben [...]“.

dazu führen kann, dass sich das Mindset der Beteiligten ändert³⁹. Von hoher Relevanz in der Einführung ist es, den zu erwartenden Nutzen der Prozessverbesserung durch agile Ansätze zu explizieren. Fünf der Interviewpartner sehen eine methodische Unterstützung der Einführung als notwendig an, um agile Elemente nachhaltig in die Entwicklungsprozesse integrieren zu können. Jedoch ist dieser Prozess nicht trivial⁴⁰.

Als explizierte Erkenntnis aus der explorativen Studie zur Identifikation möglicher Herausforderungen in der Implementierung agiler Ansätze in die Prozesse der Entwicklung mechatronischer Systeme lässt sich somit festhalten, dass tendenziell gilt:

Der Prozess der Einführung agiler Elemente in die Prozesse von Unternehmen in der Mechatronikbranche muss zweckgebunden und individuell – also mit der Integration geeigneter agiler sowie strukturierender Elemente – erfolgen. Zudem sollte dieser Prozess methodisch unterstützt werden.

Die aus der explorativen Interviewstudie gewonnenen Erkenntnisse wurden zur quantitativen Absicherung sowie weiteren Konkretisierung des Forschungsbedarfs in eine quantitative Studie überführt (Heimicke, Spahic et al., 2021). Im Kern sollte die Sichtweise von Fachleuten aus der Praxis darüber aufgenommen werden, inwiefern die Einführung agiler Ansätze als individueller Problemlösungsprozess zu verstehen ist und einer expliziten methodischen Unterstützung bedarf. Zur Operationalisierung dessen wurde die Annahme zunächst in vier Hypothesen untergliedert:

- H1: Die Einführung von Agilität ist ein Problemlösungsprozess.
- H2: Um Agilität erfolgreich in Entwicklungsprozesse einzuführen, müssen die Ziele, die damit erreicht werden sollen, zunächst identifiziert werden.
- H3: Für eine erfolgreiche Einführung von Agilität muss für jeden Anwendungsfall ein individueller Ansatz entwickelt werden, der auf den im Entwicklungsumfeld vorhandenen Strukturen aufsetzt und gezielt agile Elemente in die Entwicklungsprozesse einführt.
- H4: Der Prozess Optimierungspotentiale zu identifizieren und Agilität erfolgreich einzuführen, muss methodisch gestützt sein.

³⁹ „Jede Firma ist anders [und] hat eine andere Kultur [...]“. Unternehmensberatung

⁴⁰ „Ich [...] glaube, wenn das nur so eine To-do Liste wird, was dann letztendlich jeder Berater machen kann, dann wird das wahrscheinlich auch nicht funktionieren.“

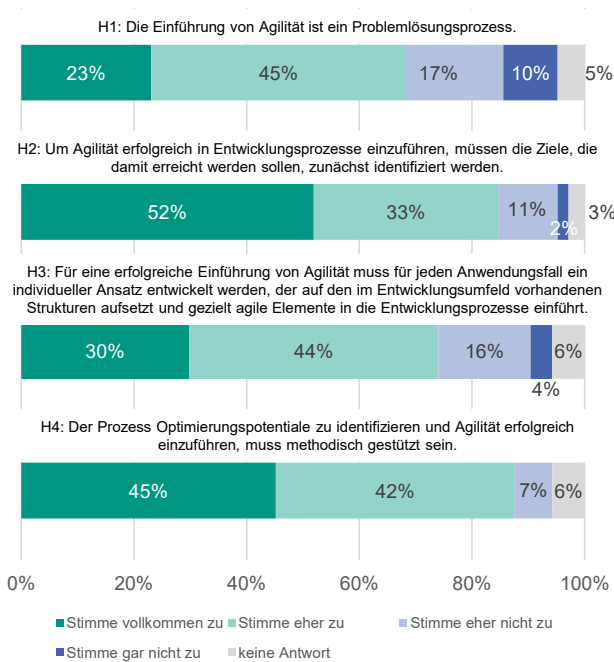


Abbildung 3.2: Ergebnisse der quantitativen Umfrage zur Überprüfung der Annahmen bzgl. der Notwendigkeit einer methodisch gestützten Einführung agiler Elementemit N = 140 (Heimicke, Spahic et al., 2021)

Diese vier Hypothesen wurden in einen Onlinefragebogen überführt und mittels einer vierstufigen Likert-Skala mit den Antwortoptionen *Stimme vollkommen zu*, *Stimme eher zu*, *Stimme eher nicht zu* sowie *Stimme gar nicht zu* präsentiert. Zudem konnten die Teilnehmenden wählen, keine Antwort zu geben. 140 Personen beantworteten die Umfrage vollständig. In Abbildung 3.2 ist die Auswertung der Umfrage visualisiert. (Heimicke, Spahic et al., 2021)

Aus Abbildung 3.2 lässt sich entnehmen, dass alle Annahmen eine überwiegende Zustimmung der Teilnehmenden erfahren. Für die vorliegende Forschungsarbeit wird nunmehr die Ausgangslage expliziert, dass die Einführung agiler Elemente in die Prozesse der Entwicklung mechatronischer Systeme individuell erfolgen muss, als Problemlösungsprozess verstanden werden kann und methodisch gestützt werden sollte (Heimicke, Spahic et al., 2021).

In der Analyse der Literatur erscheinen insbesondere die Ansätze nach Dieblod, Schmidt und Reiß als zielführend, um die...

- I. situations- und bedarfsgerechte Integration...
- II. agiler Elemente...
- III. in die Prozesse der Mechatroniksystementwicklung...

zu unterstützen (vgl. Abschnitt 2.2.4). In jedem dieser Ansätze ist jedoch eine der obigen Eigenschaften (I. – III.) schwächer ausgeprägt.

Zwar unterstützt die Methodik *ACAPI – an Approach for goal – oriented and Context – specific Agile Process Improvement* nach Dieboldt (2020) die situations- und bedarfsgerechte Gestaltung und Integration agiler Elemente in Entwicklungsprozesse, ist jedoch ausschließlich für die Anwendung in der Softwareentwicklung geeignet. Schmidt (2019) schlägt Prinzipien und ausgewählte Praktiken für die agile Entwicklung mechatronischer Systeme vor - jedoch keine situations- und bedarfsgerechte Anpassung agiler Vorgehensweisen für den jeweiligen Anwendungsfall. Reiß (2018) stellt einen Ansatz für die situations- und bedarfsgerechte Empfehlung für Entwicklungsmethoden der Mechatroniksystementwicklung vor, fokussiert jedoch hierbei nicht die Gestaltung agiler Prozesse. (Heimicke, Ng et al., 2021) Hieraus ergibt sich folgende Zielsetzung für die vorliegende Forschungsarbeit:

Ziel der Forschungsarbeit:

Das Ziel dieser Arbeit ist die Entwicklung einer Methodik, die den Problemlösungsprozess zur Entwicklung und Einführung einer individuellen agil-strukturierten Prozesslösung zur situations- und bedarfsgerechten Befriedigung der Anwendungsfall-spezifischen Anforderungen von Handlungssystemen in der Gestaltung der Mechatroniksystementwicklung unterstützt.

3.1.2 Forschungshypothese und Forschungsprämissen

Auf Basis der Analysen des Stands der Forschung sowie der Ermittlung des Forschungsbedarfs wurden folgende Forschungsprämissen (Blessing & Chakrabarti, 2009, 239ff.) für die vorliegende Arbeit getroffen:

1. Die Grundprinzipien des Ansatzes ASD – Agile Systems Design sind dazu geeignet, Phänomene im Entwicklungsprozess zu beschreiben.
2. Der Bedarf nach einem richtigen Maß aus Flexibilität und Struktur im Entwicklungsprozess bleibt bestehen.

3. Am Entwicklungsprozess beteiligte Stakeholder streben in der Mehrzahl danach, Entwicklungsprozesse zu verbessern.
4. Die Verbesserung von Entwicklungsprozessen lässt sich als Problemlösungsprozess beschreiben.
5. Akzeptanz und der wahrgenommene Mehrwert einer Prozessverbesserung begünstigen nachhaltige Prozessveränderung.

Unter Berücksichtigung dieser Forschungsprämissen und Ableitung aus dem Forschungsbedarf sowie zur Realisierung der Zielsetzung (vgl. 3.1.1), wird für die vorliegende Forschungsarbeit folgende Forschungshypothese formuliert:

Forschungshypothese:

Die Anwendung einer Methodik, die den Problemlösungsprozess zur Entwicklung und Einführung einer individuellen agil-strukturierten Prozesslösung in der Gestaltung der Mechatroniksystementwicklung unterstützt, steigert im Handlungssystem den wahrgenommenen Mehrwert sowie die Akzeptanz gegenüber Kombinationen agiler und strukturierender Elemente.

Analog zu den Forschungsprämissen sind Akzeptanz und wahrgenommener Mehrwert von agilen Elementen für eine nachhaltige Einführung notwendig, kurz- und mittelfristig messbar, aber vermutlich nicht hinreichend. Im weiteren Verlauf der Arbeit wird die Subjektivität in der Einschätzung von Akzeptanz und wahrgenommenem Mehrwert agiler Elemente berücksichtigt.

3.1.3 Forschungsfragen

Aus der Klärung des Forschungsbedarfs (vgl. 3.1.1) und der aufgestellten Hypothese, lassen sich mehrere Forschungsfragen ableiten. Die Beantwortung dieser Forschungsfragen folgt dem Vorgehen aus der *Design Research Methodology* nach Blessing & Chakrabarti (2009, 14ff.). Hierzu werden die Forschungsfragen in den jeweiligen Ergebniskapiteln 0, 0 und 6 in Teilforschungsfragen untergliedert.

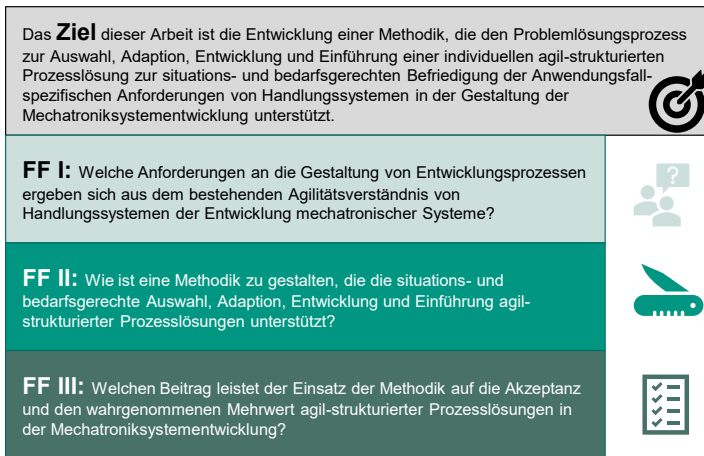


Abbildung 3.3: Die zentralen Forschungsfragen, die in der vorliegenden Forschungsarbeit beantwortet werden.

Im Forschungsbedarf (3.1.1) konnte gezeigt werden, dass die Einführung agiler Elemente in die Entwicklungsprozesse methodisch gestützt werden sollte. Um das der Arbeit zu Grunde liegende Vorgehen darzulegen, erfolgt im folgenden Abschnitt die Einordnung der Forschungsarbeit in die *Design Research Methodology*, die Beschreibung der genutzten Forschungsumgebung sowie die Erläuterung von in der Forschungsarbeit verwendeten empirischen Methoden.

3.2 Forschungsmethodik und -umgebungen

Aufgrund ihrer breiten Akzeptanz in der Produktentwicklungsforschung sowie ihrer Eignung, iterative Forschungsvorhaben linear darzustellen, wurde die *Design Research Methodology (DRM)* nach Blessing und Chakrabarti (2009) als Forschungsmethode ausgewählt. Im folgenden Abschnitt erfolgt eine kurze Einführung in diese Forschungsmethodik sowie die unmittelbare inhaltliche Einordnung der Forschungsarbeit in die *DRM* (siehe Abschnitt 3.2.1). Zudem werden in der Arbeit genutzte empirische Methoden beschrieben und die Forschungsumgebung der Arbeit skizziert (siehe Abschnitt 3.2.2). Zwar ermöglicht die DRM eine lineare Vorstellung

der Forschungsarbeit mittels verschiedener Stadien, erlaubt in ihrer Vorgehensweise jedoch ein angemessenes Maß an Iterationen, sodass Analyse- und Syntheseaktivitäten einander anregen.

3.2.1 Einordnung der Forschungsarbeit

Die Erkenntnisse, die innerhalb der Stadien gemäß der *Design Research Methodology* nach BLESSING UND CHAKRABARTI (2009) gewonnen werden konnten, lassen sich Abbildung 3.4 entnehmen.

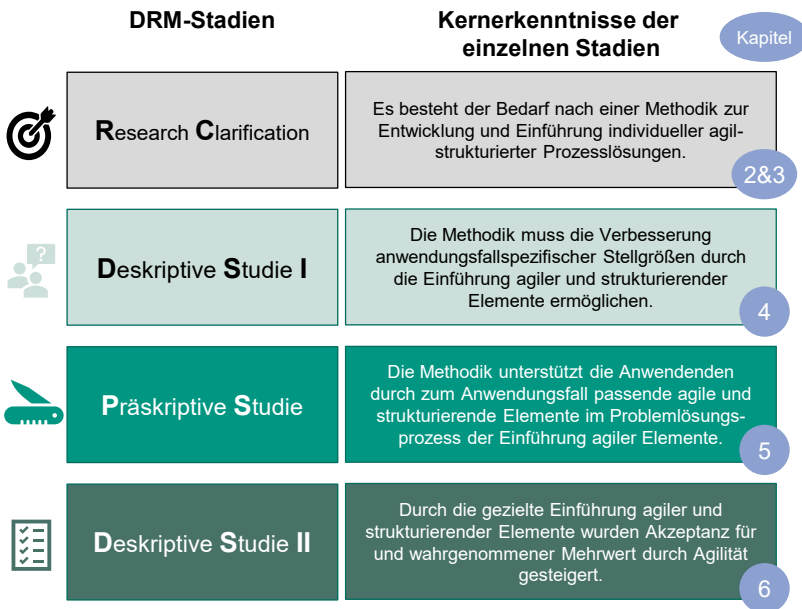


Abbildung 3.4: Kernerkenntnisse der einzelnen Stadien, der vorliegenden Forschungsarbeit.

Im Stadium der *Research Clarification* erfolgt die umfassende und zumeist literaturbasierte Klärung des Forschungsbedarfs (Blessing & Chakrabarti, 43ff.). Die Grundlage hierfür wurde in Kapitel 2 in Form der Beschreibung aktueller Entwicklungen und Forschung in Anknüpfung an das Thema *Gestaltung agiler Entwicklungsprozesse* vorgenommen. Die Konkretisierung des Forschungsbedarfs der vorliegenden

Arbeit wurde in Abschnitt 3.1 über eine Kaskadierung von Literaturrecherche, explorativer Interviewstudie und quantitativer Studie vorgenommen.

Aufbauend auf der in Abschnitt 3.1 vorgestellten *Research Clarification* erfolgt in der *Deskriptiven Studie I (DS-I)* die Konkretisierung des Forschungsbedarfs unter Analyse des Anwendungsbereichs in der Praxis (Blessing & Chakrabarti, 2009, 75ff.). Zur gezielten Entwicklung der im Forschungsbedarf geforderten Methodik wurde aus dem in der *DS-I* generierten Verständnis ein Methodenprofil entwickelt, das in Kapitel 0 vorgestellt wird. Insbesondere wurde mittels explorativer Interviewstudie, Expertenbefragungen und einer quantitativen Studie der aktuelle Stand hinsichtlich Verständnisses, Zielsetzungen und Herausforderungen in der agilen Entwicklung mechatronischer Systeme identifiziert, konkretisiert und die Akzeptanz gegenüber sowie wahrgenommener Mehrwert von agilen Ansätzen aus Sicht von Anwendenden erhoben. Zuletzt wurden mögliche Stellgrößen zur anwendungsfallspezifischen Verbesserung agiler Fähigkeiten von Organisationseinheiten auf Basis einer Umfrage, eines Expertenworkshops und einer Literaturrecherche kondensiert.

In der *Präskriptiven Studie (PS)* wird gemäß der *DRM* die eigentliche und in den vorherigen Stadien als notwendig identifizierte Unterstützung aufgebaut (Blessing & Chakrabarti, 2009, 141ff.). In der vorliegenden Forschungsarbeit wurde hierfür eine Methodik zur anwendungsfallspezifischen Auswahl, Kombination und Einführung agiler und strukturierender Elemente in die Prozesse der Mechatroniksystementwicklung iterativ generiert (siehe Kapitel 0). Diese wurde als Problemlösungsmethodik strukturiert. Die einzelnen Phasen dieser Problemlösung werden durch im Rahmen der Forschungsarbeit entwickelte Methoden unter Nutzung bestehender Prozesselemente aus Literatur und Praxis unterstützt. Die Entwicklung der Methodik erfolgte in einem wiederkehrenden Zyklus aus Synthese durch den Autor, Diskussionen mit Forschenden der Produktentwicklung und Fachleuten aus der Praxis, Absicherung von Annahmen über die Literatur und Formalisierung der Erkenntnisse in Methoden.

In der *Deskriptiven Studie II (DS-II)* erfolgt die Evaluation der Unterstützung. Diese Evaluation untergliedert sich in die Unterstützungsevaluation, Anwendbarkeitsevaluation und Erfolgsevaluation. (Blessing & Chakrabarti, 2009, 181ff.) Im Rahmen der vorliegenden Forschungsarbeit wird in der *DS-II* das Verfahren für die Evaluation vorgestellt und in verschiedenen Anwendungsfällen mit dem Ziel der Evaluation der *Methodik zur situations- und bedarfsgerechten Einführung agiler und strukturierender Elemente in die Prozesse der Mechatroniksystementwicklung* durchgeführt (siehe Kapitel 6). Dabei wurde die Unterstützungsevaluation mit dem Ziel durchgeführt, die durch verschiedene Methodikanwendende wahrgenommene Unterstüt-

zungsleistung in der situations- und bedarfsgerechten Einführung agiler und strukturierender Elemente zu evaluieren. In der Anwendungsevaluation wurde untersucht, ob die den Anwendenden zur Verfügung gestellte Methodik und Materialien in der Durchführung verwendet wurden und zweckmäßig waren. Zuletzt wurde in der Erfolgsevaluation überprüft, ob und in welchem Ausmaß die in dieser Arbeit genutzten Erfolgskriterien *Akzeptanz gegenüber* und *wahrgenommener Mehrwert* durch die eingeführten Prozesselemente verbessert wurden. Dabei wurde das Kriterium Akzeptanz gegenüber agilen Elementen gewählt, da Akzeptanz nach REIß (2018) als kritisch für eine nachhaltige Methodenanwendung anzusehen ist. Zudem konnte REIß zeigen, dass der Mehrwert von Methoden oftmals intransparent ist und zudem einen Einfluss auf die Akzeptanz gegenüber der Methode hat. Darüber hinaus zeigten SCHMIDT, WEISS UND PAETZOLD (2018b), dass der wahrgenommene Mehrwert, den die Anwendung agiler Elemente bei Entwicklungsteams erzeugt, von den Erwartungen abweicht. Damit eine nachhaltige Prozessverbesserung durch eine Kombination aus agilen und strukturierenden methodischen Elementen erfolgen kann, sollen daher die genannten Erfolgskriterien durch die Anwendung der entwickelten Methodik verbessert werden. Um die Erfolgskriterien erheben zu können, wurden diese in Teilkriterien, die aus REIß (2018) und SCHMIDT, WEISS UND PAETZOLD (2018b) hergeleitet wurden, unterteilt (siehe dazu Abschnitte 4.2.3 und 6.1).

Die Konkretisierung der Methodik, die im Rahmen der *PS* entstand und die Überprüfung ihrer Anwendbarkeit, die Gegenstand der *DS II* war, erfolgten in der vorliegenden Forschungsarbeit iterativ in verschiedenen Reifegradstufen, um bereits frühzeitig Erkenntnisse über die Ausgestaltung der Methodik zu erhalten. Diese flossen analog zum Kerngedanken des ZHO-Modells unmittelbar in die Weiterentwicklung der Methodik ein.

Je nach Umfang und verwendeten Vorgehensweisen sowie Art der Untersuchungsmethoden unterscheiden BLESSING UND CHAKRABARTI sieben unterschiedliche Arten von Forschungsprojekten (vgl. Abbildung 3.5).

Entsprechend der vorangegangenen Einordnung der vorliegenden Forschungsarbeit in das Framework der *Design Research Methodology* lässt sich das durchgeführte Forschungsprojekt als Typ 5 charakterisieren. Es folgt eine Übersicht über die in der Arbeit genutzten Untersuchungsmethoden.

Typ	Klärung des Forschungsgegenstands	Deskriptive Studie I	Präskriptive Studie	Deskriptive Studie II
1	Literatur-basiert	Umfassend		
2	Literatur-basiert	Umfassend	Initial	
3	Literatur-basiert	Literatur-basiert	Umfassend	Initial
4	Literatur-basiert	Literatur-basiert	Literatur-basiert Initial / Umfassend	Umfassend
5	Literatur-basiert	Umfassend	Umfassend	Initial
6	Literatur-basiert	Literatur-basiert	Umfassend	Umfassend
7	Literatur-basiert	Umfassend	Umfassend	Umfassend

Abbildung 3.5: Einordnung der Forschungsarbeit in die durch Blessing und Chakrabarti(2009, S. 18) vorgeschlagenen und anhand der Ausprägungen der einzelnen Forschungsstadien unterschiedenen Typen von Forschungsprojekten. Durch den Autor vereinfachte Darstellung.

3.2.2 Untersuchungsmethoden und Forschungsumgebungen

Zur Beantwortung der Forschungsfragen wurden unterschiedliche Untersuchungsmethoden in verschiedenen Forschungsumgebungen eingesetzt. Im folgenden Abschnitt werden diejenigen Untersuchungsmethoden vorgestellt, unter deren Nutzung die Erkenntnisse der vorliegenden Forschungsarbeit generiert wurden. Hierbei wurde ein Steckbriefformat ähnlich zur Darstellung nach MARXEN (2014) und BURSAC (2016) gewählt. In den Kapiteln 0, 0 und 6 werden weitere Details zur jeweils verwendeten Untersuchungsmethode beschrieben.



Fragebogenstudie	
Beschreibung 	<ul style="list-style-type: none"> • Empirisch-analytische Forschungsmethode zur quantitativen Erfassung von Sachverhalten • Wird genutzt, um Tendenzen aus Sicht einer größeren Zahl an Teilnehmenden, die eine Grundgesamtheit repräsentieren, zu erheben. • Die Ergebnisse lassen sich quantitativ und mittels statistischer Verfahren auswerten. • In der Erstellung ist die Qualität und Validität von Fragebögen sicherzustellen. Hier eignen sich Pre-Tests.
Anwendung in der vorliegenden Forschungsarbeit	
<p>In der RC wurde eine Fragebogenstudie mit dem Ziel der Absicherung der Relevanz des vermuteten Forschungsbedarfs durchgeführt. Als Forschungsumgebung wurden verschiedene Unternehmen der Mechatronikbranche gewählt, wobei Anwender agiler Techniken mittels Fragebögen eingebunden wurden.</p>	
<p>In der DS-I wurde die Fragebogenstudie mit dem Ziel der Erfassung der IST-Situation in der agilen Entwicklung mechatronischer Systeme sowie des aktuellen Stands bzgl. Akzeptanz und wahrgenommenem Mehrwert in Bezug auf Agilität durchgeführt. Als Forschungsumgebung wurden verschiedene Unternehmen der Mechatronikbranche gewählt, wobei Anwender agiler Techniken mittels Fragebögen eingebunden wurden.</p>	
<p>In der DS-II wurde eine Fragebogenstudie mit dem Ziel der reproduzierbaren Evaluation der in der PS entwickelten Methodik durch die Anwender der Methodik durchgeführt. Als Forschungsumgebung wurden hier die jeweiligen Entwicklungsumgebungen, deren Prozesse durch die Methodik verbessert wurden, gewählt.</p>	

Abbildung 3.6: Fragebogenstudie nach BLESSING UND CHAKRABARTI (2009, 269ff.) und MARXEN (2014, 104ff.), angewandt in Abschnitten 3.1.1, 4.2.3 und 6.2

Systematische Literaturrecherche	
Beschreibung 	<ul style="list-style-type: none"> • Literaturbasierte Forschungsmethode zur Systematisierung von Literaturanalysen • Definition von Kriterien hinsichtlich welcher die mögliche zu lesende Literatur eingegrenzt wird auf Basis der zu beantwortenden Forschungsfrage • Definition eines Suchstrings zur Literatursuche • Mehrstufige Filterung der Literatur anhand der definierten Kriterien • Aufbau eines Analyseschemas und Analyse der verbliebenen Literatur • Ableiten der Erkenntnisse auf Basis der Analyse
Anwendung in der vorliegenden Forschungsarbeit	
<p>In der DS-I wurde die <i>Systematische Literaturrecherche</i> mit dem Ziel des Aufbaus eines konsistenten Agilitätsverständnisses auf Basis der Literatur durchgeführt. Als Forschungsumgebung wurden hier die Literaturdatenbanken <i>Scopus</i> und <i>Web of Science</i> genutzt.</p>	


Beobachtung	
Beschreibung 	<ul style="list-style-type: none"> • Empirische Forschungsmethode zur Sammlung von Echtzeit-Daten • Kann im Laborumfeld, in Live-Labs oder Feldstudien angewandt werden. • Hierbei dokumentiert die beobachtende Person alle für eine Forschungsfrage relevanten Informationen und Sachverhalte darüber hinaus. • Die Definition bezüglich der Dokumentationsregeln ist ein entscheidendes Qualitätskriterium. • In Abhängigkeit der Rolle des Beobachters existieren verschiedene Arten der Beobachtung.
Anwendung in der vorliegenden Forschungsarbeit	
<p>In der DS-II wurde die Beobachtung mit dem Ziel der Überprüfung der Zweckmäßigkeit der entwickelten Evaluationsmethode angewandt. Als Forschungsumgebung wurde hier das Live-Lab Hector-School 2020 verwendet, innerhalb welchem ein Team aus 6 Studierenden eine Generation eines autonomen Zustellfahrzeugs entwickelt.</p>	

Abbildung 3.7: *oben*: Systematische Literaturrecherche nach KITCHENHAM ET AL. (2009), angewandt in Abschnitt 4.1, *unten*: Beobachtung nach BLESSING UND CHAKRABARTI (2009, 257ff.) und MARXEN (2014, 146ff.), angewandt in den Abschnitten 6.1 und 6.2

Interviewstudie	
Beschreibung 	<ul style="list-style-type: none"> • Empirische, analytische Untersuchungsmethode, die in einer Vielzahl an Formen angewandt werden kann • Erfassung von qualitativen Zusammenhängen und Klärung komplexer Sachverhalte aus Sicht involvierter Personen • Hilfestellung in der Identifikation quantitativer Zusammenhänge • Kann einem vorgegebenen Interviewleitfaden folgen, semi-strukturiert oder auch explorativ erfolgen
Anwendung in der vorliegenden Forschungsarbeit	
<p>In der RC wurde eine explorative Interviewstudie mit dem Ziel der Sammlung möglicher Herausforderungen in der agilen Entwicklung physischer Systeme durchgeführt. Als Forschungsumgebung wurden verschiedene Unternehmen der Mechatronikbranche gewählt, wobei Anwender agiler Techniken mittels Expertenbefragung eingebunden wurden.</p>	
<p>In der DS-I wurde eine explorative Interviewstudie mit dem Ziel der Erfassung der IST-Situation in der agilen Entwicklung physischer Systeme durchgeführt. Als Forschungsumgebung wurden verschiedene Unternehmen der Mechatronikbranche gewählt, wobei Anwender agiler Techniken mittels Expertenbefragung eingebunden wurden.</p>	
<p>In der DS-II wurden strukturierte Interviews mit dem Ziel der Evaluation der in der PS entwickelten Methodik geführt. Als Forschungsumgebung wurden hier die jeweiligen Entwicklungsumgebungen, deren Prozesse durch die Methodik verbessert wurden, gewählt.</p>	

Fallstudien	
Beschreibung 	<ul style="list-style-type: none"> • Empirische Forschungsmethode zur Observation realer Abläufe • Dabei wird die zu untersuchende Methode in einen realen Anwendungsfall integriert und die Anwendung der Methode unter möglichst realen Randbedingungen evaluiert. • Zumeist lassen sich aus einer Fallstudie keine übergreifenden oder umfassenden Aussagen ableiten, sondern vielmehr inhaltlich wertvolle Impulse zur Weiterentwicklung von Forscherkenntnissen.
Anwendung in der vorliegenden Forschungsarbeit	
<p>In der DS-II wurden Fallstudien mit dem Ziel der Evaluation der in der PS entwickelten Methodik in verschiedenen Reifegraden und Anwendungsbereichen durchgeführt. Als Forschungsumgebung wurden hier die jeweiligen Entwicklungsumgebungen, deren Prozesse durch die Methodik verbessert wurden, gewählt.</p>	

Abbildung 3.8: *oben*: Interviewstudie nach BLESSING UND CHAKRABARTI (2009, 271ff.) und MARXEN (2014, 101ff.) angewandt in Abschnitten 3.1.1, 4.2.1 und 6.2 *unten*: Fallstudie nach BLESSING UND CHAKRABARTI (2009, S. 268) und MARXEN (2014, S. 98), (Abschnitt 6.2)

Qualitative Inhaltsanalyse nach Mayring	
<p>Beschreibung</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Regelbasierte Analysemethode zur Auswertung von Texten, die in der qualitativen Datenerhebung (z.B. Interviewstudien) anfallen • Inhaltliche Strukturierung von Textmaterial, das aus dem Gesamtmaterial entnommen und bestimmten Themen zugeordnet wird • Dabei sukzessive und nachvollziehbare Bildung von Kategorien zur Einordnung von Textstellen – sowohl induktiv als auch deduktiv • Zunächst deduktive Ableitung von geeigneten Kategorien aus der Theorie und induktive Erweiterung dieser Kategorien im Zuge der Textanalyse • Schritte: <ol style="list-style-type: none"> 1. Bestimmung der Analyseeinheiten 2. Festlegung der Strukturierungsdimensionen 3. Bestimmung der Ausprägungen (theoriegeleitet), Zusammenstellung des Kategoriensystems 4. Formulierung des Kodierleitfadens 5. Materialdurchlauf: Fundstellenbezeichnung 6. Materialdurchlauf: Bearbeitung und Extraktion der Fundstellen 7. Überarbeitung, ggf. Revision von Kategoriensystem und Kategoriendefinition 8. Ergebnisaufbereitung
Anwendung in der vorliegenden Forschungsarbeit	
<p>In der RC wurde die <i>Qualitative Inhaltsanalyse</i> nach Mayring mit dem Ziel der Identifikation und Kategorisierung von Herausforderungen in der agilen Entwicklung physischer Systeme angewandt. Als Forschungsumgebung wurden verschiedene Unternehmen der Mechatronikbranche gewählt, wobei Anwender agiler Techniken mittels Expertenbefragung eingebunden wurden.</p>	
<p>In der DS-I wurde eine vereinfachte Form der <i>Qualitativen Inhaltsanalyse</i> nach Mayring mit dem Ziel der Konkretisierung von Herausforderungen in der agilen Entwicklung physischer Systeme sowie zur Analyse bestehenden Textmaterials aus Interviews im Rahmen des BMBF-Projekts AdWiSE durchgeführt. Als Forschungsumgebung wurden verschiedene Unternehmen der Mechatronikbranche sowie Forschungsinstitute im Bereich der Produktentwicklungsforschung gewählt, wobei Anwender agiler Techniken mittels Expertenbefragung eingebunden wurden.</p>	

Abbildung 3.9: Qualitative Inhaltsanalyse nach MAYRING UND FENZL (2019), angewandt in den Abschnitten 3.1.1, 4.2.1 und 4.2.2

4 Profil einer Methodik zur gezielten Implementierung von Agilität

In diesem Kapitel wird der Forschungsbedarf konkretisiert und daraus das initiale Zielsystem der Forschung (Abschnitt 3.1.1) in ein Methodenprofil der zu entwickelnden methodischen Unterstützung überführt. Dieses Profil repräsentiert im weiteren Verlauf der Forschungsarbeit die Bedarfssicht an die entwickelte Methodik. Hierzu wird in Kapitel 0 folgende Forschungsfrage sowie die entsprechenden Teilforschungsfragen beantwortet (siehe Abbildung 4.1):


FF I: Welche Anforderungen an die Gestaltung von Entwicklungsprozessen ergeben sich aus dem bestehenden Agilitätsverständnis von Handlungssystemen der Entwicklung mechatronischer Systeme?	
FF I._I: Wie gestaltet sich eine konsolidierte Agilitätsdefinition für die Entwicklung mechatronischer Systeme auf Basis bestehender Literatur?	
FF I._{II}: Welche Herausforderungen im Einsatz von Agilität bestehen in der Praxis und welche Implikationen ergeben sich hieraus an die Gestaltung agiler Ansätze für die Entwicklung mechatronischer Systeme?	
FF I._{III}: Welche Faktoren beeinflussen die agilen Fähigkeiten verschiedener Organisationseinheiten in der Entwicklung mechatronischer Systeme?	
FF I._{IV}: Welche Anforderungen ergeben sich an die Einführung agiler Ansätze in die Prozesse der Entwicklung mechatronischer Systeme?	

Abbildung 4.1: Haupt- und Teilforschungsfragen zur Strukturierung empirischer Studien, um den Forschungsbedarf zu konkretisieren

Zunächst erfolgt die Herleitung eines konsolidierten Agilitätsverständnisses aus der Literatur (siehe Abschnitt 4.1). Daraufhin wird die mehrstufige Analyse des aktuellen Leistungsstands der Anwendung agiler Ansätze in der Praxis vorgestellt, aus welcher Anforderungen an die in Kapitel 0 vorgestellte Methodik abgeleitet werden (siehe Abschnitt 4.2). Zuletzt wird eine Sammlung möglicher Stellgrößen zur Realisierung der agilen Transformation vorgestellt, die in einer Umfrage, einem Expertenworkshop und einer Literaturrecherche aufgebaut wurde (siehe Abschnitt 0). Das Kapitel schließt mit einem Zwischenfazit in Form eines Profils an die Methodik (siehe Abschnitt 4.4).

4.1 Ein konsolidiertes Agilitätsverständnis

Dieser Abschnitt basiert in großen Teilen auf der Publikation Albers, Heimicke, Müller & Spadinger, 2019) und der Abschlussarbeit MÜLLER (2019)⁴¹.

Der einfache Transfer agiler Techniken aus der Software- in die Mechatroniksystementwicklung ist aufgrund der im Forschungsbedarf (3.1.1) aufgezeigten Diskrepanz in den Anforderungen an die Ansätze nicht ohne erhebliche Anpassung möglich. Die Voraussetzung für einen erfolgreichen Einsatz agiler Elemente in den Prozessen der Mechatroniksystementwicklung ist ein Verständnis von Agilität, das dieser Branche gerecht wird. Die Grundlage der Analyse stellt die Definition von Conforto et al. (2016) dar, die Agilität als „[...] *die Fähigkeit des Projektteams, den Projektplan als Reaktion auf die Bedürfnisse von Kunden oder Interessengruppen, Markt- oder Technologieanforderungen schnell zu ändern, um eine bessere Projekt- und Produktleistung in einem innovativen und dynamischen Projektumfeld zu erreichen*“⁴² definieren. Potential wird darin gesehen, ein Verständnis von Agilität abzuleiten, das nicht auf ein Projektteam beschränkt ist, sondern den organisationalen Strukturen in Unternehmen gerecht wird sowie der Anforderung nach einer Integration in strukturierende Prozesselemente im Entwicklungsprozess genügt.

Vorgehen in der Studie

Mit dem Ziel, ein Agilitätsverständnis abzuleiten, das Gültigkeit in der Entwicklung mechatronischer Systeme besitzt wurde eine *Systematische Literaturrecherche* (vgl. 3.2.2) durchgeführt. Die Forschungsfrage, die mittels der hierbei gewonnenen Erkenntnisse beantwortet wird, lautet:

FF I.: Wie gestaltet sich eine konsolidierte Agilitätsdefinition für die Entwicklung mechatronischer Systeme auf Basis bestehender Literatur?

Dabei ist das für die vorliegende Arbeit spezifische Vorgehen innerhalb der systematischen Literaturrecherche der Tabelle 4 zu entnehmen (Müller, 2019, 13ff.).

⁴¹ Unveröffentlichte Abschlussarbeit (co-betreut)

⁴² Eigene Übersetzung.

Tabelle 4: Zusammenfassung der Phasen der systematischen Literaturrecherche

Phase	Beschreibung/Ergebnisse
(1) Suchstring und Keywords	Der Suchstring wurde gemäß den Anforderungen von Literaturdatenbanken formuliert und lautet: <i>agile OR agility AND development OR developing AND understanding OR understand AND software OR electronics OR mechatronics OR mechanics OR medicine</i>
(2) Auswahl der Datenbank	Als Datenbank wurde SCOPUS® genutzt, die eine der größten Datenbanken mit Artikeln aus Peer-Review-Verfahren ist.
(3) Auswahl der Artikel	Die beiden ausschlaggebenden Kriterien, die zur Auswahl eines Artikels für die weitere Nutzung geführt haben, sind: a) Es ist ein Verständnis oder eine Definition des Konstrukts Agilität enthalten. b) der Artikel adressiert Ansätze in den Disziplinen der Mechatronik.
(4) Erste Filterung (Lesen)	Aus der Gesamttrefferanzahl von 1035 Dokumenten wurden zunächst Duplikate und Artikel ausgeschlossen, die keinem Peer-Review Verfahren unterlagen. Aus den verbliebenen 880 Dokumente wurden durch das Lesen von Titel, Abstract und Keywords 49 Artikel als für die Studie potenziell zweckmäßig erachtet.
(5) Zweite Filterung (Lesen)	Im nächsten Schritt wurden die gesamten Beiträge gelesen und mittels der Ausschlusskriterien 13 Artikel identifiziert, die ein eigenes Verständnis von Agilität hervorbringen.
(6) Finale Analyse	Die identifizierten Definitionen des Konstrukts Agilität wurden hinsichtlich der enthaltenen Elemente miteinander verglichen. Daraus wurde eine kondensierte Definition abgeleitet.

Ergebnisse der Studie

Nach der Durchführung der mehrstufigen Filterung sowie der Anwendung der Ausschlusskriterien sind 13 Literaturstellen mit Definitionen und Verständnissen von Agilität verblieben. Diese wurden im Folgenden dazu genutzt, um ein für die Mechatroniksystementwicklung geeignetes Verständnis zu konsolidieren. Nach dem scholastischen Definitionsverständnis⁴³ (Kirchner & Michaëlis, 1907, S. 136–137) erfolgte sodann eine Analyse der Definitionen hinsichtlich des jeweils vorliegenden

⁴³ Die in der Scholastik etablierte Definitionsregel, die auf Aristoteles zurückgeht, besagt, dass für jeden Begriff die nächsthöhere Gattung (lat. *genus proximum*) und die artbildende Differenz (lat. *differentia specifica*) anzuführen ist, um den Begriff zu definieren und in ein hierarchisches Begriffssystem einordnen zu können. Kirchner und Michaëlis (1907, S. 136–137)

genus proximum sowie differentia specifica, die zur Beschreibung des Konstrukts Agilität genutzt wurden. Hieraus wurde eine Sammlung erstellt, die jeweils verschiedene Ausprägungen der genus proxima und differentia specifica beinhaltet. Hieraus wurden aus geeigneten genus proxima und differentia specifica sowie Ergänzungen basierend auf dem Verständnis der Produktentwicklung nach der *KaSPro* ein Verständnis von Agilität konsolidiert, das den Ansprüchen der Mechatroniksystementwicklung gerecht wird und zudem als zentrales Agilitätsverständnis im weiteren Verlauf der Arbeit zu Grunde gelegt wird.

Tabelle 5: Definitionen von Agilität – gekennzeichnet sind **Generikum** und **Spezifikum**

Definition	Quelle
"[...] an effective integration of response ability and knowledge management in order to rapidly, efficiently and accurately adapt to any unexpected (or unpredictable) change [...]."	(Wendler, 2014)
„[...] a project team's ability to quickly change the project plan as a response to customer or stakeholder needs, market or technology demands in order to achieve better project or product performance in an innovative and dynamic project environment“	(Conforto et al., 2016)
"Agile methodologies are described as flexible and lightweight, often built on short iterations, and having short validation loops."	(Kuusinen et al., 2016)
" Eliminate waste, understanding first what value is. Build quality in, by testing as soon as possible, automation and re-factoring. Create knowledge , through rapid feedback and continuous improvement."	(Razzak, 2016)
"Agile method involves interleaving the specification, implementation, design and testing. [...] Agile methods aim at reducing the software process overheads [...]"	(Sunner, 2016)
„The primary benefit of large-scale agile development is improved quality, enabled by practices that support regular or continuous integration between teams delivering software, hardware, and mechanics.“	(Eklund & Berger, 2017)
"[...] the agile element of CI provides a quick response with respect to functional aspects."	(Hohl et al., 2017)
"Agile development is a learning-oriented approach . It is characterized by an early and iterative realization of fully-tested software increments."	(Schuh, Gartzten et al., 2017)

„Early respectively rapid development of products or product increments – iterative development – in order to get feedback from customers and learn from failures, target is to end earlier with a suitable running product meeting customer needs as exactly as possible.“	(Feldmuller, 2018)
„The concept of agile manufacturing is to maximize customer experience while shortening delivery time rather than minimizing cost. It is widely held that the importance of organizations to react quickly to changes in market condition increases with environmental turbulence.“	(Niederman et al., 2018)
„Agility is the ability of a development team to react continuously and quickly to expected and unexpected changes in a dynamic environment , to accept them and to take advantage of them.“	(Schmidt, Paetzold & Weiss, 2018)
“Agile methods are marked by the use of iterative development cycles and the incorporation of customers throughout the entire process. Prototypes are built incrementally and presented to the customer for feedback to gain knowledge about the product and to optimize it in the next cycle.“	(Spreiter et al., 2018)
„[...] team agility as the continual readiness of a software development team to rapidly or inherently create change, proactively or reactively embrace change, and learn from change while contributing to perceived customer“	(Werder & Maedche, 2018)

Zunächst ist festzustellen, dass lediglich fünf Definitionen ein genus proximum für die Definition von Agilität nutzen und damit nach dem scholastischen Verständnis der Definition die Anforderungen an eine solche erfüllen. Dies legt nahe, dass eine vollumfängliche und allgemeingültige Definition des Terms *Agilität* nicht ohne weiteres möglich ist. Übrige Ausführungen werden demnach nicht als Definition, sondern als Verständnis angesehen und die hier genannten Charakteristika in die Kollektion der differentia specifica aufgenommen. Das erste identifizierte Verständnis ist im Jahr 2014 zu finden, also 13 Jahre nach der Publikation des agilen Manifests. Dies lässt sich auf die Art der Entstehung und des Explizierens agiler Arbeitsweisen zurückführen. So wurden im agilen Manifest zunächst Best Practices beschrieben, die sich aus erfolgreicher Entwicklungspraxis in der Softwarebranche abgeleitet haben. So lag der Fokus nicht auf der Schaffung einer wissenschaftlichen Definition, sondern vielmehr auf der Erzeugung einer für die praktische Anwendung geeigneten Vorgehensweise zur Zusammenarbeit und Projektorganisation. Die kontinuierliche Weiterentwicklung von agilen Methoden und der fortschreitende Übertrag in die Prozesse der Mechatroniksystementwicklung haben jedoch vermutlich den Bedarf nach einem geeigneten Agilitätsverständnis verstärkt.

Inhaltlich lassen sich – wie in Tabelle 5 blau markiert – in 5 der Verständnisse nächsthöhere Gattungsbegriffe identifizieren (Conforto et al., 2016; Schmidt, Paetzold & Weiss, 2018; Schuh, Gartzke et al., 2017; Wendler, 2014; Werder & Maedche, 2018). Diese sind:

- Fähigkeit eines Entwicklungsteams (2-mal genannt)
- Effektive Integration
- Ständige Bereitschaft
- Ansatz mit Fokus auf den Wissenszugewinn

In drei Fällen bezieht sich das *genus proximum* auf Eigenschaften des Entwicklungsteams (*Fähigkeit* und *Bereitschaft*) während in zwei Fällen Implikationen für den Entwicklungsprozess als geeignetes *genus proximum* angesehen werden (*Integration* und *Ansatz*). Fraglich bleibt, ob eine Beschränkung auf das Entwicklungsteam insbesondere in der zunehmenden Anwendung skaliert agiler Frameworks einen ausreichenden Definitionsrahmen bietet. Hier sollte eine Anwendungsfall-spezifische Einordnung auf verschiedene Organisationseinheiten möglich sein.

Hinsichtlich der identifizierten *differentia specifica* ist zunächst festzustellen, dass keine trennscharfe textuelle Unterteilung, die einer reproduzierbaren Regel folgt, möglich war. Dies lässt sich oftmals darauf zurückführen, dass die vorhandenen Charakteristika aufeinander aufbauen, sodass eine Separation der Sätze zu einer Veränderung des Sinns des Verständnisses geführt hätten (z. B. wurde eine „*schnelle Anpassung des Projektplans*“ nicht in „*schnelle Anpassung*“ und „*Projektplan*“ aufgeteilt). So folgte die Analyse keiner Regel, sondern es wurde eine Sammlung von Elementen erzeugt, die sich laut der Definitionsregeln eignen, die artbildende Differenz in der Definition darzustellen. Aus den identifizierten Verständnissen ließen sich die folgenden *differentia specifica* ableiten (in Tabelle 5 Grün). Diese wurden zudem kategorisiert:

- *Umgang mit Änderungen*
 - Kontinuierliche und hohe Reaktionsfähigkeit gegenüber Änderungen aus einem dynamischen Umfeld
 - Akzeptieren der Änderungen aus dem Umfeld
 - Schnelle Anpassung des Projektplans
- *Art und Ausgestaltung der Entwicklung*
 - Inkrementelles Entwickeln
 - Iteratives Entwickeln
 - Flexibel und leichtgewichtig
- *Rolle von Validierung und Wissenszugewinn*
 - Früher Wissenszugewinn durch frühe Validierung

- *Beschreibung des Prozess-Outcomes*
 - Maximieren von Kundennutzen
 - Maximieren von Anbieternutzen
 - Verkürzen von Entwicklungszeiten
 - Steigern der Produktperformance bzw. der Produktqualität
 - Reduktion des Prozess-Overheads

Unter Berücksichtigung, teilweiser Zusammenfassung und Abstraktion der in der Literatur identifizierten Verständnisse sowie den Anforderungen der Mechatroniksystementwicklung an prozessuale Unterstützung (siehe Abschnitt 2.1) und aus den Grundlagen der Produktentwicklung im Verständnis der KaSPro – Karlsruher Schule für Produktentwicklung – wie der Beschreibung der Produktentstehung als ZHO-Systemtriple – wurde die folgende Definition von Agilität abgeleitet (Albers, Heimicke, Müller & Spadinger, 2019):

Definition 13: Agilität⁴⁴

Agilität ist die Fähigkeit eines Handlungssystems, die Gültigkeit eines Projektplans hinsichtlich der Planungsstabilität der Elemente im ZHO-Triple kontinuierlich zu überprüfen, zu hinterfragen und bei Vorliegen einer ungeplanten Informationskonstellation eine situations- und bedarfsgerechte Anpassung der Sequenz aus Synthese- und Analyseaktivitäten umzusetzen, wodurch der Kundinnen und Kunden-, Anwendenden- und Anbietendennutzen zielgerichtet erhöht werden.

Der genus proximum **Fähigkeit eines Handlungssystems** stellt zum einen die an der Entwicklung beteiligten Menschen in den Vordergrund und lässt darüber hinaus zu, dass durch eine beliebig wählbare Systemgrenze des Handlungssystems eine Skalierbarkeit dieser Fähigkeit vorgenommen werden kann, ohne in dem geschaffenen Agilitätsverständnis abzuweichen.

Auch die konsolidierte Definition weist ein langes differentia specifica auf. Ausgangsbasis stellt das **Vorhandensein einer Planung in Form eines Projektplans** dar. Dies ist insbesondere aufgrund der großen Zahl an Schnittstellen zwischen der Entwicklung und anderen Bereichen der Organisation notwendig, um beispielsweise

⁴⁴ Es wird darauf hingewiesen, dass die konsolidierte Definition nicht als umfassend postuliert wird, sondern vielmehr ein abstrahierter Rahmen für anwendungsfallsspezifische Auslegungen des Agilitätsbegriffs geschaffen werden sollte.

Kapazitäten für die Validierung frühzeitig zu buchen. Die Detailtiefe und Robustheit dieser Planung ist jedoch stets vom Zeitpunkt und dem zugrundeliegenden Wissen bezüglich der Referenzsystemelemente abhängig. Hierbei unterstützt das Wissen über Referenzprozesse im Modell der PGE – Produktgenerationsentwicklung die Entwickelnden in der Entscheidung für eine adäquate Detailplanung (Albers, Rapp, Peglow et al., 2019; Wilmsen, Dühr et al., 2019b). Diese Planung wird kontinuierlich hinsichtlich ihrer Gültigkeit überprüft. Dies bedeutet, dass beispielsweise durch das kontinuierliche Planen der als nächstes zu durchlaufende Zeitabschnitt (vorstellbar ist hier das Verständnis einer Entwicklungsgeneration) auf Basis des Wissensgewinns aus dem letzten zeitlichen Abschnitt (der abgeschlossenen Entwicklungsgeneration) im tieferen Detail mit einer höheren Robustheit umgesetzt wird.

Im Gegensatz zu einigen der bestehenden Definitionen wurde in der konsolidierten Form nicht die Dynamik im Umfeld als Begründung für das agile Entwicklungsvorgehen gewählt, sondern der Aspekt der **Planungsstabilität**. Diese wird in den Situationen der Planung als Maßgabe herangezogen, um die Notwendigkeit kurzer Iterationen zu überprüfen. Mit der Planungsstabilität ist die Wahrscheinlichkeit gemeint, mit der Änderungen an einem Vorgehen zur Realisierung verschiedener Objekte im Gegensatz zur ursprünglichen Planung notwendig werden. Sie lässt sich auf die Elemente des gesamten **ZHO-Tripels** anwenden und ist sowohl vom Zeithorizont einer Planung sowie dem Wissen bezüglich vorhandener oder benötigter Referenzsystemelemente abhängig. Je weiter der Zeithorizont einer Planung reicht, desto höher ist die Wahrscheinlichkeit für Änderungen (Oestereich & Weiss, 2008, S. 53). Zudem nimmt das Wissen über Referenzsystemelemente mit zunehmender Entfernung vom Entwicklungsteam ab (Albers, Rapp et al., 2017).

Der nächste Teil der Definition bezieht sich auf das **kontinuierliche Überprüfen und Hinterfragen der Planung**. Auf Basis des jeweiligen IST-Standes und dem zum Ende eines nächsten Zeitabschnitts gewünschten SOLL-Zustandes der Elemente im ZHO-Tripel überprüfen die Entwickler die Gültigkeit der bestehenden Planung. Erscheint die Planung beispielsweise aufgrund geänderter Planungsprämissen nicht mehr angemessen, so wird das Vorgehen im Projekt hieran angeglichen. Beispielsweise kann aus einer Validierung die Erkenntnis folgen, dass der gewünschte Nutzen, den ein (Teil-)System aus Anwendungensicht generieren soll, lediglich unzureichend erfüllt wird. Dies führt unmittelbar zu einer Anpassung der Planung, um den gewünschten Nutzen durch Anpassungen am System zu gewährleisten. Vorhersehbare Iterationen, die beispielsweise bei Teilsystemen mit einem hohen Prinzipiationsanteil zu erwarten sind, sollten jedoch direkt in der initialen Planung berücksichtigt werden. Die tatsächlich durchzuführenden Aktivitäten zur Realisierung des jeweiligen Teilsystems lassen sich dann zu Beginn des

jeweiligen Zeitabschnitts detailliert planen. Dabei muss eine etwaige Verschiebung der initial geplanten Zeitabschnitte ebenfalls in Betracht gezogen werden.

Im nächsten Teil des *differentia specifica* wird die Art beschrieben, in der innerhalb des konsolidierten Verständnisses **Anpassungen am Projektplan erfolgen**. Zum einen werden die Grundoperatoren Analyse und Synthese als mögliche Bausteine einer Planung bereitgestellt. Diese sind wiederum in Abhängigkeit des jeweils vorliegenden Anwendungsfalls zu spezifizieren. Jedoch lassen sich alle Aktivitäten innerhalb eines Entwicklungsprozesses diesen beiden Operatoren zuordnen, sodass eine Übertragbarkeit des Verständnisses auf verschiedene Anwendungsfälle gewährleistet wird. Der Zusatz der situations- und bedarfsgerechten Anpassung der Sequenz aus Analyse und Synthese, wie er in der Definition zu finden ist, gewährleistet die individuelle Anwendung des Agilitätsverständnisses. So wird keine Regel definiert, mittels der jede Planungssituation gelingt, sondern viel mehr aufgezeigt, dass die durchzuführenden Aktivitäten die Überführung eines situationsspezifischen IST- in einen SOLL-Zustand gewährleisten und damit den Bedarfen (z. B. den Kompetenzen) des Entwicklungsteams gerecht werden.

Zuletzt enthält die konsolidierte Agilitätsdefinition eine Beschreibung der gewünschten Folge agiler Entwicklung. Diese erscheint zunächst abstrakt, da es keine funktionsfähigen Inkremente oder ähnlichen Entwicklungsergebnisse sind. Analog zum Produktprofil (2.1.1) ist das Ziel agiler Entwicklung die zielgerichtete Steigerung von **Kundinnen-, Kunden-, Anwendenden- und Anbietendennutzen**. Stets ist es also das Ziel in der Entwicklung, das Optimum innerhalb dieses Dreiklangs zu identifizieren und ein Produkt zu gestalten, das zu diesem Nutzenoptimum führt. Dieses ist Anwendungsfall-spezifisch. Im Vergleich zu den bestehenden Definitionen wurden Anwendende explizit mit hinzugefügt.

Eine weitere Ausführung des Vorgehens in der Herleitung der Definition ist in der Veröffentlichung (Albers, Heimicke, Müller & Spadinger, 2019) sowie in der durch den Autor betreuten Abschlussarbeit zu finden (Müller, 2019, 24ff.).

Die geschaffene Definition stellt das dieser Arbeit zu Grunde liegende Agilitätsverständnis dar. Im weiteren Verlauf wird kontinuierlich Bezug hierzu genommen. Entwickelnde sollen durch die im weiteren Verlauf entwickelte Methode darin unterstützt werden, dieses Agilitätsverständnis in ihrem individuellen Anwendungsfall umzusetzen. Hierzu erfolgt zunächst eine Analyse der Auffassung gegenüber agilem Arbeiten in der Praxis sowie eine Bestandsaufnahme hinsichtlich der Akzeptanz und des wahrgenommenen Mehrwerts bezüglich agilen Arbeitens.

4.2 Analyse des IST-Stands agiler Entwicklung mechatronischer Systeme

Um den IST-Stand der Anwendung agiler Elemente in den Prozessen der Mechatroniksystementwicklung zu identifizieren, Tendenzen in einem für die Praxis praktikablen Agilitätsverständnis zu erkennen sowie Ziele und Herausforderungen, die mit dem Einsatz agiler Ansätze einhergehen, zu bestimmen, wurden unter Beteiligung des Autors eine explorative Interviewstudie (Goevert et al., 2019), die Auswertung von Expertenaussagen (Dumitrescu et al., 2021) und eine quantitative Studie (Heimicke, Kaiser & Albers, 2021) durchgeführt. Im Zuge letzterer wurde der aktuelle Stand in der Praxis bezüglich Akzeptanz gegenüber und wahrgenommenem Mehrwert von agilen Ansätzen erhoben. Auf diesen Publikationen basiert der folgende Abschnitt. Die quantitative Studie war Gegenstand einer durch den Autor co-betreuten Abschlussarbeit (S. Kaiser, 2020a)⁴⁵. Der Abschnitt dient der Beantwortung der Teilforschungsfrage:

FF I.11: Welche Herausforderungen im Einsatz von Agilität bestehen in der Praxis und welche Implikationen ergeben sich hieraus an die Gestaltung agiler Ansätze für die Entwicklung mechatronischer Systeme?

4.2.1 Explorative Analyse der Anwendung agiler Arbeitsweisen

Dieser Abschnitt baut auf einer Fachpublikation unter Mitarbeit des Autors auf (Goevert et al., 2019).

Zum Aufbau eines initialen Verständnisses bezüglich der Anwendung agiler Ansätze in der unternehmerischen Praxis wurde zu einem frühen Stadium der Forschungsarbeit eine explorative Interviewstudie mit 18 Unternehmensvertretern durchgeführt. Die Studie erfolgte in Kooperation zwischen dem *IPEK – Institut für Produktentwicklung* und dem *Lehrstuhl für Produktentwicklung und Leichtbau an der Technischen Universität München*. Ziel der Studie war es, die Grundlage für weitere Forschungsarbeiten im Bereich der agilen Entwicklung mechatronischer Systeme bereitzustellen und Potentiale für weitere Forschungsaktivitäten innerhalb des vorliegenden Forschungsvorhabens zu explizieren. Folgende Hypothesen wurden untersucht:

⁴⁵ Unveröffentlichte Abschlussarbeit (co-betreut)

- 1) Unternehmen in der Entwicklung mechatronischer Systeme wenden agile Ansätze vereinzelt an, jedoch sind Unternehmenskultur und grundlegende Denk- und Handlungsweisen der Mitarbeitenden nicht agil.
- 2) Die Herausforderungen bei der Etablierung agiler Ansätze im Bereich der Entwicklung mechatronischer Systeme lassen sich auf einige wenige Hauptursachen beschränken.
- 3) Entwicklungsmethoden können agile Fähigkeiten im Entwicklungsteam einschränken, da agile Ansätze diese Methoden nicht nahtlos integrieren.
- 4) Je systematischer Agilität eingeführt wird, desto nachhaltiger werden agile Ansätze integriert.

Vorgehen in der Studie

Aus dem in der Studie erfragten Verständnis von agilem Arbeiten wurden Forschungsbedarfe für darauffolgende Forschungsaktivitäten formuliert. Daher wurde eine Interviewstudie mit nicht-standardisierten Fragen durchgeführt (Anhang D), die aus den aufgestellten Hypothesen abgeleitet wurden.

Die Interviews wurden hälftig durch den Autor sowie eine Mitarbeiterin des *Lehrstuhls für Produktentwicklung und Leichtbau an der Technischen Universität München* durchgeführt. Dabei erfolgte die Erhebung unter genehmigter Audioaufzeichnung telefonisch. Die Audiospuren wurden ebenfalls hälftig durch den jeweilig Durchführenden des Interviews manuell transkribiert und die anonymisierten Aussagenpassagen der Interviewteilnehmenden im Original in eine Tabelle mittels offener Codierung unterhalb der jeweils gestellten Frage eingetragen. Daraufhin wurden die Ergebnisse hinsichtlich der zuvor aufgestellten Hypothesen qualitativ analysiert. In Abbildung 4.2 wird die Vorgehensweise in der Studiendurchführung visualisiert. Die Auswahl der Teilnehmenden beschränkte sich auf Kontaktpersonen der jeweiligen Lehrstühle, wobei jeder Lehrstuhl neun Kontaktpersonen für die Durchführung der Interviews gewinnen konnte. Maßgebliche Kriterien für die Auswahl der Interviewees waren, dass diese im Bereich der Entwicklung mechatronischer Systeme eingebunden waren sowie bereits Erfahrungen in der agilen Entwicklung aufwiesen.

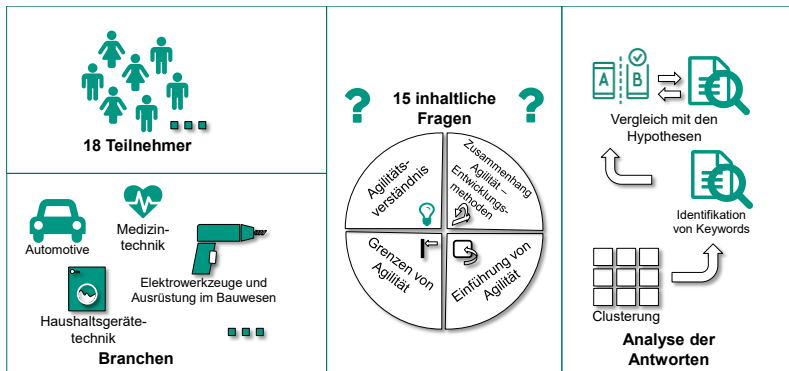


Abbildung 4.2: Übersicht über die Kernelemente der Studie: Anzahl und Branche der Teilnehmenden, Einordnung der Fragen in Themenbereiche sowie Vorgehen in der Interviewauswertung

Die Teilnehmenden entstammten den Branchen:

- Automobilindustrie (4 Teilnehmende)
- Allgemeiner Maschinenbau (3 Teilnehmende)
- Elektrowerkzeuge und Ausrüstung im Bauwesen (2 Teilnehmende)
- Ingenieurdienstleistungen (2 Teilnehmende)
- Sondermaschinenbau (2 Teilnehmende)
- Automatisierungstechnik (1 Teilnehmende)
- Energietechnik (1 Teilnehmende)
- Haushaltsgerätetechnik (1 Teilnehmende)
- Medizintechnik (1 Teilnehmende)
- Schreibgeräteindustrie (1 Teilnehmende)

Die durchschnittliche Berufserfahrung der Interviewpartner belief sich auf 16 Jahre.

Ergebnisse der Studie

Zunächst wurden die Teilnehmenden nach ihrem Agilitätsverständnis gefragt. Da es hier keinerlei Vorgaben für Antwortmöglichkeiten oder Einfluss der Gesprächsleitung auf Teilnehmende gab, war in den Antworten der Teilnehmenden eine große Divergenz zu beobachten. Keine Antwort der Teilnehmenden hatte den in Abschnitt

4.1 beschriebenen Charakter einer Definition. Zudem waren die Inhalte der Antworten über die Teilnehmenden hinweg sehr unterschiedlich, sodass sich aus den geführten Interviews kein einheitliches Verständnis feststellen ließ. Allerdings konnten vereinzelte Elemente im Verständnis als wiederkehrend wahrgenommen werden. Nachfolgend werden einige Antworten zitiert:

- „In Sprints entwickeln, kontinuierliche Planung nach jeder Iteration, keine Verkürzung von Gesamtlaufzeit Projekt“
- „Fähigkeit, auf Unvorhersehbares reagieren zu können, trotzdem Entwicklungsziele zu erreichen“
- „Alternative zum Wasserfallmodell, am Anfang ergebnisunklar, allerdings kostentreu und terminierbar“
- „Weg von hohem Planungsaufwand zu Beginn“

Wiederkehrende Elemente in den Verständnissen waren Iterationen, Reaktionen auf Veränderungen sowie kontinuierliche Planung während des Entwicklungsprojekts. Diese Elemente lassen sich nach Abstraktion allesamt in der generischen *Definition 13: Agilität* wiederfinden. Allerdings lässt sich aus der Studie zunächst folgende Erkenntnis ableiten:

In der physischen Produktentwicklung existiert in der Gruppe der Befragten kein einheitliches Agilitätsverständnis, gegenüber dem sich eine erfolgreich eingeführte agile Produktentwicklung messen lässt.

Aus dem jeweiligen Agilitätsverständnis der Teilnehmenden wurde in Kombination mit der beschriebenen Art, wie Agilität im jeweiligen Anwendungsfall umgesetzt wird, eine Einordnung hinsichtlich der Durchdringung von Agilität in das alltägliche Handeln von Mitarbeitenden in den Organisationen abgeleitet. In Abbildung 4.3 wird die Anzahl der Teilnehmenden in der jeweiligen Anwendungstiefe von Agilität dargestellt, wobei Teilnehmende, deren gewohnte Denk- und Handlungsweisen agil sind, im äußeren Ring (**Mindset**) verortet wurden, während diejenigen, die Agilität als einfaches Durchführen von **Praktiken & Methoden** wahrnehmen, im inneren Ring verortet wurden. Verstehen sie agiles Arbeiten als befolgen von Regeln, wurden sie dem Ring **Prinzipien** zugeordnet. Ließ sich agiles Arbeiten als Eigenschaft oder verinnerlichte Standards erkennen, wurden die Teilnehmenden in den Ring **Werte** eingeordnet⁴⁶.

⁴⁶ Die Zuordnung erfolgte qualitativ – eine reproduzierbare und quantifizierbare Zuordnungsalgorithmik ließ sich hier nicht anwenden

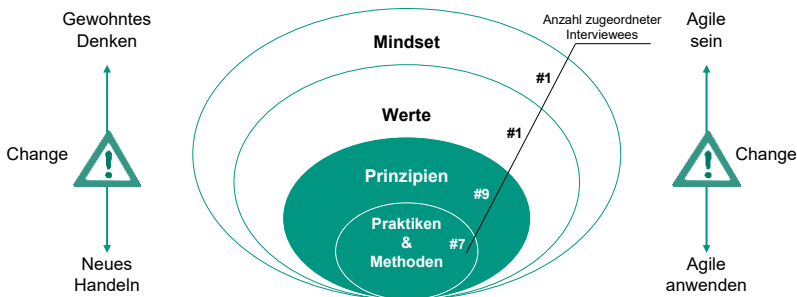


Abbildung 4.3: Fokus der Anwendung von Agilität, Darstellung nach (NextLevels, 2020) in Anlehnung an Moreira (2013, S. 8)

Es ist zu beobachten, dass für einen Großteil der Befragten (16 Teilnehmende ≈ 89%) Agilität als neues Handeln wahrgenommen und demnach lediglich agile Praktiken & Methoden oder agile Prinzipien in der Kollaboration realisiert werden.

- „[...] Entwicklung in Sprints, kontinuierliche Planung nach jeder Iteration, keine Verkürzung der Gesamtprojektdauer“
- „Letztlich ist es die Anwendung von agilen Projektmanagement-Methoden auf den Entwicklungsprozess [...]“

Lediglich zwei Teilnehmende konnten aufgrund deren Verständnisse von Agilität zugesprochen werden, dass die Entwickler in diesen Anwendungsfällen bereits agile Denk- und Handlungsweisen verinnerlicht. Ein Auszug der Aussagen, an denen dies festgemacht werden kann, sind die folgenden Aussagen, die die Teilnehmenden bezüglich des unternehmenseigenen Verständnisses von Agilität getätigt haben:

- „[...] , dass sehr viel mehr Verantwortung bei den Experten liegt und sie auch sehr viel mehr Verantwortung übernehmen und damit im Team ein Projekt zum Ziel führen können.“
- „Agile Entwicklungsverfahren sind Vorgehensweisen, die in Übereinstimmung mit dem agilen Manifest stehen.“
- „Es gibt Projekte, in denen sich die Teams an der Idee des agilen Manifests orientieren, wobei [...] hier keine spezifische[n] Vorgehensweise[n] verallgemeinert werden.“

Diese Aussagen stammen von Anwendenden aus Maschinenbau und Sondermaschinenbau⁴⁷.

Im Folgenden werden die explorativen Erkenntnisse zu den eingangs getroffenen Annahmen basierend auf den Interviewergebnissen hergeleitet.

- 1) Unternehmen in der Entwicklung mechatronischer Systeme wenden agile Ansätze vereinzelt an, jedoch sind Unternehmenskultur und grundlegende Denk- und Handlungsweisen der Mitarbeitenden nicht agil.

Auf einer abstrakten Ebene haben die Befragten ein ähnliches Verständnis von agiler Entwicklung, sodass einzelne Elemente, wie Iterationen, eine erhöhte Reaktionsfähigkeit und eine kontinuierliche Planung in den Aussagen wiederkehrten. Diese Elemente lassen sich ebenfalls als spezifische Ausprägungen vereinzelter Elemente der *Definition 13:Agilität* zuordnen. In der praktischen Umsetzung wird das Verständnis nicht vollständig gelebt oder kann aufgrund der Rahmenbedingungen nicht vollständig gelebt werden. Allerdings wird das Ziel, den Entwicklungsprozess zu verbessern im Gegensatz zu dem Ziel, agil zu arbeiten, als relevanter angesehen. Im weiteren Verlauf der Forschungsarbeit werden durch die Durchführung weiterer Studien häufig wiederkehrende Elemente im praktischen Agilitätsverständnis quantifiziert sowie Zielsetzungen für den Einsatz agiler Elemente quantifiziert.

Agilität ist in Unternehmen der Mechatronikbranche überwiegend noch nicht in den gewohnten Denk- und Handlungsweisen des Handlungssystems verstetigt.

- 2) Die Herausforderungen bei der Etablierung agiler Ansätze im Bereich der Entwicklung mechatronischer Systeme lassen sich auf einige wenige Hauptursachen beschränken.

Die spezifischen Herausforderungen für die Durchdringung agiler Ansätze, die in der Studie ermittelt wurden, ließen sich zwei generischen Herausforderungsclustern zuordnen, die speziell in der Mechatronikbranche relevant sind. Zum einen stellen die physischen Eigenschaften mechatronischer Systeme und damit verbundene Prozesse wie die Fertigung oder die Absicherung ein Herausforderungscluster für die einfache Anwendung agiler Ansätze dar. Dieses wurde ebenfalls in Studien von

⁴⁷ Agile Denk- und Handlungsweisen beziehen sich in diesem Zusammenhang auf die Organisation und das Wertesystem im Unternehmen und den Umgang im Entwicklungsteam. Eine inkrementelle Entwicklung des Produkts war nicht zu erkennen, sodass übergeordnet noch ein Stage-Gate-Prozess zu Grunde lag.

Ovesen (2012) und Schmidt et al. (2017) als zentral für die Anwendung agiler Ansätze in der Entwicklung mechatronischer Systeme identifiziert. Existierende Ansätze werden den Anforderungen hierarchisch geprägter Organisationen, bestehender Lieferantenbeziehungen sowie den Bedürfnissen der strategischen und operativen Ebene in der Produktentstehung nicht gerecht – bereits Diebold et al. (2015) beschreiben den Einklang agiler Praktiken mit der Kultur einer Organisation als notwendige Bedingung für eine nachhaltige Durchdringung agiler Ansätze. Das Verständnis für die Herausforderungen in der agilen Entwicklung mechatronischer Systeme wird auf Basis der explorativen Studie im weiteren Verlauf der Arbeit konkretisiert. Zudem wird das Kriterium der Eignung eines agilen Ansatzes für den jeweiligen Anwendungskontext als zentral für eine nachhaltige Durchdringung des Ansatzes identifiziert.

Die Hauptursachen für eine aktuell fehlende Durchdringung agiler Ansätze lassen sich zum einen auf die technischen Eigenschaften mechatronischer Systeme und andererseits auf damit verbundene kulturelle Eigenschaften von Organisationen wie analog zur Systemstruktur gewachsene Hierarchien und ein sehr verbreitetes Arbeiten in einer Multiprojekt-Umgebung zurückführen.

- 3) Entwicklungsmethoden können agile Fähigkeiten im Entwicklungsteam einschränken, da agile Ansätze diese Methoden nicht nahtlos integrieren.

Der Großteil der Befragten gab an, neben den agilen Elementen auch eine Vielzahl an Entwicklungsmethoden anzuwenden. Dabei wurden insbesondere Kreativitätsmethoden mit geringen Durchführungszeiten genannt, die aus Sicht der Befragten keine negativen Auswirkungen auf die Anwendung agiler Ansätze haben. Lediglich Methoden mit hohen Durchführungszeiten (z. B. Systemanalysen und die FMEA) können laut der Interviewpartner zu einer Trägheit im Prozess führen, die die agile Umsetzung von Entwicklungsaktivitäten behindert. Diese Methoden oder auch der Einbezug relevanter Richtlinien, wie der ISO26262 (ISO/IEC/IEEE 26262:2018) sind jedoch in jedem Entwicklungsvorhaben notwendig. Für die Forschungsarbeit wird hieraus die Randbedingung abgeleitet, dass bei der Einführung agiler Ansätze in die Prozesse der Mechatroniksystementwicklung zunächst eine Identifikation der für den jeweiligen Anwendungskontext notwendigen Methoden, Richtlinien und Standards erfolgen muss und diese dann mit agilen Methoden kombiniert werden müssen.

Entwicklungsmethoden mit geringen Durchführungs-, Vor- und Nachbereitungsaufwänden stellen kein Hindernis für die Agilität von Entwicklungsteams dar. Methoden mit hohem Durchführungsaufwand, wie die FMEA, werden jedoch als Agilitätshemmer wahrgenommen, dürfen im Prozess der Mechatroniksystementwicklung jedoch unter keinen Umständen vernachlässigt werden.

- 4) Je systematischer Agilität eingeführt wird, desto nachhaltiger werden agile Ansätze integriert.

Die Teilnehmenden gaben an, dass Agilität zumeist über die Anwendung von agilen Methoden und Ansätzen in der operativen Ebene eingeführt wurde und die Einführung keiner Systematik folgte. Das Agieren des Top-Managements wurde mehrfach als Hindernis für eine weitreichendere Durchdringung von Agilität angegeben. Für die Forschungsarbeit ergibt sich die Anforderung, eine Methodik zur Einführung agiler Ansätze zu erstellen. Basierend auf den Erkenntnissen aus dem ersten und zweiten Studienteil ist es zwingend notwendig, dass zunächst die Ziele, die durch die Einführung von Agilität erreicht werden sollen, identifiziert werden und daraufhin geeignete agile Methoden zur Verfügung gestellt werden. Diese sind daraufhin im Einklang mit den Anforderungen und Zielen der strategischen sowie operativen Ebene einzuführen. Um dies zu ermöglichen, werden im weiteren Verlauf der Forschungsarbeit Einflüsse auf die nachhaltige Einführung agiler Ansätze identifiziert (siehe Abschnitt 4.2.3). Zudem erfolgt eine Zusammenstellung von Einflussfaktoren auf die Umsetzung agiler Fähigkeiten von Organisationseinheiten (siehe Abschnitt 0).

Im Großteil der Unternehmen, denen die befragten Teilnehmenden der Studie angehören, wurde Agilität nicht systematisch eingeführt. Eine erfolgreiche Strategie scheint jedoch die Einführung über die operative Ebene mit für Agilität begeisterten Mitarbeitenden zu sein und die Schaffung der notwendigen prozessualen Randbedingungen im Handlungssystem für diese.

4.2.2 Herausforderungen in der agilen Entwicklung aus Sicht von Experten aus der Forschung und Praxis

Agil zu entwickeln ist eine zentrale Fähigkeit von Handlungssystemen im ASE – *Advanced Systems Engineering* (siehe Abschnitt 2.1.5). Im Rahmen des durch das

Bundesministerium für Bildung und Forschung geförderten Projekts AdWiSE⁴⁸ wurde der Leistungsstand im Bereich des Systems Engineerings in Forschung, Lehre und Praxis unter Mitwirkung des Autors erhoben. Hieraus sollen Anforderungen identifiziert werden, denen agile Ansätze genügen müssen, um Unternehmen bei der Realisierung des ASE – *Advanced Systems Engineering* zu unterstützen.

Vorgehen in der Studie

Hierfür wurden durch das Konsortium insgesamt 107 Fachleute aus Forschung/Lehre (31) und Praxis (76) mittels eines semi-strukturierten Interviews befragt. Themenbereiche waren die wahrgenommenen Herausforderungen aus den Megatrends, der Leistungsstand in den Bereichen *Advanced Systems*, *Systems Engineering* und *Advanced Engineering* (siehe Abschnitt 2.1.5) sowie die zukünftige Rolle des Menschen in der Entwicklung. Die Erkenntnisse wurden in der Studie *Engineering in Deutschland – Status quo in Wirtschaft und Wissenschaft* (Dumitrescu et al., 2021) publiziert. Die Expertinnen und Experten der Wissenschaft waren national und international anerkannte Forschende im Bereich der Produktentwicklungsforschung. Der Großteil (27) der Befragten aus der Praxis ist Teil der Automobilindustrie. Teilnehmende weiterer Branchen stammten aus dem Maschinen- und Anlagenbau (16), Berater & IT-Unternehmen (12), sonstigen Fahrzeugen (10) sowie Automatisierung (6), Medizintechnik (2) und Sonstige (3). Die Teilnehmenden wurden durch die Konsortialpartner befragt. Daraufhin wurden die Interviews transkribiert, anonymisiert und kondensiert. Diese Kondensate wurden im gesamten Konsortium verteilt und übergreifend analysiert. (Dumitrescu et al., 2021, S. 41–43)

Im Zuge der Beantwortung der bis zu 20 Fragen aus den Themenfeldern des Advanced Systems Engineerings wurde den Teilnehmenden explizit eine Frage bezüglich ihrer Auffassung des Nutzens agiler Ansätze in der Entwicklung mechatronischer Systeme gestellt. Die Teilnehmenden konnten die Frage frei beantworten und ihre Meinung bezüglich hiermit verbundenen Potentialen und Herausforderungen äußern. In der Auswertung der Studie schlussfolgerten die Autoren um DUMITRESCU bezüglich des Leistungsstands agiler Fähigkeiten in der deutschen Wertschöpfung:

⁴⁸ **Wissenschaftliches Projekt** „Vernetzung der Akteure zur disziplinübergreifenden Entwicklung komplexer vernetzter sozio-technischer Systeme für die Wertschöpfung von morgen (**Advanced Systems Engineering**)“ (**AdWiSE**) in der Fördermaßnahme „Beherrschung der Komplexität soziotechnischer Systeme – Ein Beitrag zum Advanced Systems Engineering für die Wertschöpfung von morgen“ (PDA_ASE)“

„Die steigende Volatilität der Kunden- und Marktanforderungen fordert nach Ansicht einiger Befragten die Unternehmen dazu auf, neue Arbeitsformen einzuführen. Infolgedessen sieht der Großteil der Unternehmen die agile Arbeitsweise als zentrales Thema. Gleichzeitig betonen diese Befragten, dass die agilen Methoden und Prozesse nicht ohne Anpassungen an den Unternehmenskontext übertragen werden können. Daher müssen skalierbare Ansätze aus agilen und klassischen Entwicklungsmethoden entwickelt werden.“

(Dumitrescu et al., 2021, S. 47)

Diese Erkenntnis soll für die Konkretisierung des Verständnisses der Bedarfssituation in der Integration agiler Ansätze für den weiteren Verlauf der Forschungsarbeit erweitert werden. Hierbei soll die Notwendigkeit der Anpassung agiler Ansätze an die Gegebenheiten der Mechatroniksystementwicklung sowie der Bedarf nach Kombination agiler und plangetriebener Elemente im Vordergrund stehen. Hierfür wurden die dem Autor vorliegenden Transkripte⁴⁹ hinsichtlich der Textpassagen analysiert, die die Aussagen der Befragten bezüglich Potentialen und Herausforderungen im Einsatz agiler Ansätze in der Entwicklung mechatronischer Systeme beinhalten.

Ergebnisse der Studie

Zunächst ist festzustellen, dass lediglich 24 der 59 Befragten Aussagen hinsichtlich agiler Ansätze treffen konnten, was jedoch auf die Divergenz der Kompetenzprofile und Verantwortlichkeiten der Teilnehmenden zurückzuführen ist. (Dumitrescu et al., 2021, S. 41–43) Sowohl Forschende als auch Befragte aus der Praxis sehen Potentiale und Herausforderungen in der Anwendung agiler Ansätze zur Entwicklung mechatronischer Systeme. Die Aussagen in Tabelle 6 konkretisieren das Verständnis für die Bedarfssituation in der Integration agiler Elemente anschaulich und stellen einen Auszug an Anforderungen an die Integration agiler Elemente in die Entwicklungsprozesse dar.

⁴⁹ Dem Autor liegen die durch das *IPEK – Institut für Produktentwicklung* durchgeführten Interviews als anonymisierte Transkripte vor. Dies stellt eine Datenbasis an 59 Transkripten (30 aus Forschung und Lehre, 29 aus der Praxis) dar.

Tabelle 6: Anforderungen an die Integration von Agilität aus ausgewählten Interviews, die im Rahmen der Leistungsstandserhebung *Engineering in Deutschland* geführt wurden. (Dumitrescu et al., 2021)

Aussage	Teilnehmende	Abgeleitete Anforderung
<i>„Den Kern Konflikt [...] zwischen den Ansätzen des Systems Engineering und den Ansätzen der agilen Entwicklung, [ist,] dass das Systems Engineering stärker Anbieternutzen fokussiert, während die agile Entwicklung den Kundennutzen fokussiert. Ich denke, beide Elemente müssen vernünftig integriert werden, damit unsere Produkte sowohl am Markt gut ankommen, als auch, dass wir Geld damit verdienen.“</i>	Praxis, Werkzeugmaschinen, Deutschland	Gleichwertige Berücksichtigung von Kunden- und Anbieternutzen
<i>„[...] es funktioniert eigentlich für Software sehr gut, für Hardware nur bedingt, weil es einfach andere Iterationszyklen hat.“</i>	Praxis, Automobil, Deutschland	Umgang mit unterschiedlichen Iterationszeiten in den Domänen
<i>„[...] eine Verschmelzung oder eine Kombination oder eine clevere Art und Weise, agile Methoden um die eher wasserfallartigen oder eher stufenweisen Methoden herum zu wickeln [...]“⁵⁰</i>	Forschung, Produktentwicklung, USA	Angemessene Kombination agiler und plangetriebener Methoden
<i>„Was man sich in der Software-Branche leistet, können wir uns in der Mechanik in vielen Fällen gar nicht leisten. Ich kann nicht ein Produkt 80 Prozent fertig dem Kunden geben und sagen, mach mal, den Rest spiele ich dir irgendwann über das Internet ein, du merkst das gar nicht.“</i>	Forschung, Produktentwicklung, Deutschland	Umgang mit Inkrementen in der Entwicklung mechatronischer Systeme
<i>„Das Systems Engineering mache ich bei komplexen Systemen, wo die Grundidee letztendlich auch dahinter ist, nicht das System am Ende wird getestet um zu zeigen, dass es Qualitätsmäßig und -funktional passt, sondern der SE-Gedanke ist ganz viel manifestiert in dem Unternehmen, dass ich regelmäßig Dokumente schaffe und weil ich diese Dokumente gemacht habe, habe ich nachgewiesen, dass ich Schritte gemacht habe, und damit habe ich im Prinzip nachgewiesen, dass meine Funktionalität auch tatsächlich einstellt. Das ist der komplette Kontrast zum agilen Arbeiten.“</i>	Forschung, Produktentwicklung, Deutschland	Agilität in der Entwicklung komplexer Systeme nutzen und mit bestehenden Paradigmen in Einklang bringen

⁵⁰ Übersetzt aus dem Englischen „[...] implies a merging or a combination or some clever way of getting agile methods wrapped around the more waterfall or more staged methods“

Bezogen auf die Erkenntnisse aus der explorativen Interviewstudie lassen sich insbesondere die ersten drei Thesen (siehe 4.2.1) durch die Expertenaussagen konkretisieren. Zusammengefasst aus den Interviewtranskripten der Befragung lassen sich die folgenden Anforderungen für die Integration von agilen Ansätzen in die Entwicklungsprozesse der Mechatroniksystementwicklung ableiten. Um die Befriedigung der jeweiligen Anforderungen gewährleisten zu können, wurden die Anforderungen passenden Grundprinzipien des ASD – Agile Systems Design (Abschnitt 2.2.7) zugeordnet und diese Zuordnung erläutert:

- **Kundinnen, Kunden- und Anbieternutzen müssen gleichwertig berücksichtigt werden.**
 - ASD-Prinzip: *Produktprofile, Invention und Marktzugang bilden die notwendigen Bestandteile des Innovationsprozesses.*
 - Das Produktprofil ist ein Element im Innovationsprozess, das Kundinnen-, Kunden-, Anwendenden- und Anbietendennutzen in explizierter Form darstellt und der Validierung zugänglich macht.
- **Divergente Iterationszeiten je Domäne müssen berücksichtigt werden.**
 - ASD-Prinzip: *Frühe und kontinuierliche Validierung dient dem kontinuierlichen Abgleich zwischen Problem und dessen Lösung.*
 - Bei der Validierung im ASD werden Teilsysteme stets in Interaktion mit dem Restsystem, dem System Umgebung und dem System Anwendenden validiert. Anteile dieser Systeme selbst, die zum jeweiligen Validierungszeitpunkt nicht integriert sind, werden im Validierungssystem abgebildet. So lässt sich der Erkenntnisgewinn über eine Entwicklungsgeneration bereits früh im Entwicklungsprozess erzielen.
- **Agile und plangetriebene Methoden müssen kombiniert werden.**
 - ASD-Prinzip: *Agile, situations- und bedarfsgerechte Kombination strukturierender und flexibler Elemente*
 - Die Anwendungsfall-spezifische Prozessgestaltung im ASD unter der Denkweise des iPeM lässt eine systemabhängige Taktung von Entwicklungszyklen zu, die auf strategischer Ebene geplant werden. Zentral ist die Denkweise in Entwicklungsgenerationen aus denen die Umfänge für einzelne Zeitabschnitte abzuleiten sind (Wessels et al., 2019).
- **Der Inkrementgedanke muss in die Entwicklung mechatronischer Systeme übertragen werden.**
 - ASD-Prinzip: *Jedes Produkt wird auf Basis von Referenzen entwickelt.*
 - Im Modell der PGE – Produktgenerationsentwicklung werden Inkremente als Entwicklungsgenerationen betrachtet und diese Denkweise in der Planung kurzer Zeitzyklen, in der Umsetzung und in der Vali-

dierung des jeweiligen Entwicklungsergebnisses berücksichtigt. Planungsaktivitäten gestalten sich effizienter und robuster, Entwicklungsaktivitäten zielgerichteter und die Validierung dient der direkten Ableitung neuer Implikationen für die nächsten Planungsaktivitäten.

- **Agilität sollte in der Entwicklung komplexer Systeme genutzt und mit bestehenden Paradigmen vereinbart werden.**
 - ASD-Prinzip: *Der Mensch steht im Zentrum der Produktentstehung.*
 - Durch menschenzentrierte Methoden und Prozesse lässt sich eine Entwicklungsumgebung schaffen, in der die Entwicklungsteams ihre Kompetenzen bestmöglich entfalten und gezielt in die Co-Evolution von Ziel- und Objektsystem einbringen können. Im erfolgreichen Integrationsprozess werden im jeweiligen Anwendungsfall vorherrschende Entwicklungsparadigmen erkannt und im Zuge der Transformation berücksichtigt. Hierbei können z. B. agile Elemente gezielt genutzt werden, um Entwicklungsteams Mechanismen zur Verfügung zu stellen, mittels derer sie den Umgang mit der Systemkomplexität verbessern können.

Die aufgeführten Anforderungen an agile Ansätze in der Entwicklung mechatronischer Systeme stellen kein vollständiges Zielsystem dar und sollen vielmehr die aus Expertensicht relevantesten Herausforderungen für die Integration von Agilität in die etablierten Prozesse aufzeigen. Im weiteren Verlauf der Forschungsarbeit werden sie durch eine quantitative Studie konkretisiert.

4.2.3 Quantitative Analyse agiler Entwicklung in der Praxis

Dieser Abschnitt basiert auf einer Publikation unter Mitwirkung des Autors (Heimicke, Kaiser & Albers, 2021). Zudem waren die Inhalte Gegenstand einer durch den Autor co-betreuten Abschlussarbeit (S. Kaiser, 2020a)⁵¹.

Aus der explorativen Studie (4.2.1) wurde ersichtlich, dass Anwendende in der Praxis divergente Vorstellungen des Agilitätsverständnisses sowie der Zwecke, die mit dem Einsatz agiler Ansätze verfolgt werden, haben (vgl. 4.2.1). Dies lässt den Schluss zu, dass die Auswahl und Einführung einer geeigneten agilen Methode zur Anwendung im jeweiligen Kontext ohne Unterstützung nicht systematisch erfolgen kann, da Methoden nach ihrem Zweck ausgewählt werden sollten. Zudem wurden Herausforderungen, die in der Einführung und Anwendung agiler Ansätze zur Entwicklung mechatronischer Systeme aus Sicht der Praxis auftreten, identifiziert

⁵¹ Unveröffentlichte Abschlussarbeit (co-betreut)

(4.2.2). Für eine erfolgreiche Auswahl und Einführung einer für den Anwendungskontext geeigneten Prozesslösung muss der Mehrwert dieser Prozesslösung expliziert werden können und hierdurch auch die Akzeptanz der beteiligten Entwicklenden verbessert werden. Um Erfolgskriterien zu identifizieren, die einen Einfluss auf den wahrgenommenen Mehrwert von und die Akzeptanz gegenüber agilen Ansätzen haben, wurde eine quantitative Studie mit Anwendenden agiler Ansätze aus verschiedenen Branchen durchgeführt (siehe hierzu Abschnitt 3.2.1).

Vorgehen in der Studie

Ziel der Studie war es, die relevanten Erfolgskriterien zur Steigerung der Akzeptanz von Mitarbeitenden in der Entwicklung mechatronischer Systeme gegenüber agilen Ansätzen sowie Erfolgskriterien zur Steigerung des wahrgenommenen Mehrwerts dieser Ansätze zu identifizieren. Außerdem sollten das *Verständnis bzgl. Agilität* aus Sicht der Mitarbeitenden sowie die mit dem *Einsatz agiler Ansätze verbundenen Ziele* erhoben werden. Um eine breite Aussage treffen zu können, wurde eine quantitative Onlineumfrage mit dem Tool *Limesurvey®* als Forschungsmethode gewählt.

Der Fragebogen war aufgeteilt in die Bereiche *Demographie, Agiler Background, Verständnis und Ziele bzgl. Agilität, Herausforderungen im agilen Arbeiten, Akzeptanz bzgl. agiler Ansätze, erwarteter Mehrwert im Einsatz agiler Ansätze und tatsächlicher Nutzen agiler Ansätze*. Somit waren insgesamt 62 Fragen möglich, wobei der Fragebogen in Abhängigkeit der Expertise der Teilnehmenden drei unterschiedliche Fragebogenpfade vorsah:

1. Teilnehmende, die weder den Terminus Agilität einordnen konnten noch Erfahrungen im agilen Arbeiten hatten, wurden direkt zum Ende des Fragebogens geführt (5 Personen).
2. Teilnehmende, die den Terminus Agilität einordnen konnten, selbst jedoch nicht agil arbeiteten, wurden bzgl. ihres Verständnisses und Zielen von Agilität sowie nach dem erwarteten Mehrwert, der mit dem Einsatz agiler Ansätze aus ihrer Sicht verbunden wäre, befragt (47 Personen).
3. Teilnehmende, die den Terminus Agilität einordnen konnten und Erfahrung im agilen Arbeiten hatten, wurden hinsichtlich aller Aspekte außer ihrer Erwartungen bzgl. des Einsatzes agiler Ansätze befragt (153 Personen).

Durch dieses Vorgehen sollte die Antwortqualität erhöht werden. Der Fragentypus war durchmischt (jedoch wurde zumeist eine 5-stufige Likert-Skala genutzt, siehe

Heimicke, Kaiser und Albers (2021)). Bei Fragen mit vorgegebenen Antwortmöglichkeiten⁵² wurden bestehende Studien aus der Literatur genutzt und entsprechende Antwortmöglichkeiten nach Prüfung und Eignungsanalyse wiederverwendet und erweitert (insbesondere wurden Kriterien für Mehrwert und Ziele aufbauend auf Schmidt et al. (2018a) entwickelt, während Kriterien zum Ableiten der Akzeptanz basierend auf Reiß (2018) entwickelt wurden). Der Fragebogen selbst wurde zum Zwecke der Absicherung von Verständlichkeit und Dauer iterativ entwickelt und durch einen *Kognitiven Pretest* mit 3 Experten aus der agilen Entwicklung sowie einem *Standard-Pretest* mit 16 Produktentwicklungsforschern validiert (Lenzner et al., 2015).

Die Studie wurde mit statistischen Methoden (Marxen, 2014, 110ff.) wie beispielsweise Analysen zur Effektstärke (Cohen, 2013) oder -größe (Ellis, 2017) ausgewertet. Mittels der Auswertung sollten auf Grundlage von Häufigkeitsverteilungen geeignete Stellgrößen identifiziert werden, durch die Akzeptanz gegenüber und wahrgenommener Mehrwert von agilen Ansätzen gesteigert werden können.

Neben Kontaktpersonen des Autors aus der Praxis wurden nach Abstimmung mit den jeweiligen Verantwortlichen insbesondere E-Mail-Verteiler von den Verbänden *Forschungsvereinigung Antriebstechnik (FVA)*, *Verband der Automobilindustrie e.V. (VDA)*, *TechnologieRegion Karlsruhe e.V. (TRK)*, *Forschungsvereinigung Automobiltechnik (FAT)* und *Automotive Engineering Network (AEN)* genutzt. Zudem wurde im wöchentlich erscheinenden Newsletter des *Vereins Deutscher Ingenieure (VDI)* ein Aufruf zur Studienteilnahme gestartet. Somit wurden über 10.000 potenzielle Umfrageteilnehmende erreicht. Im Verhältnis zu der hohen Zahl an möglichen Adressaten wirkt die Teilnehmendenzahl von 205 Teilnehmenden gering, was jedoch auf das Newsletterformat als hauptsächlichen Verteilungskanal zurückgeführt werden kann. Beachtlich und bei der Auswertung der Studie nicht zu vernachlässigen ist, dass lediglich 5 Teilnehmende (~ 2,4%) keinerlei explizite Vorkenntnisse in Bezug auf Agilität vorweisen konnte. Hieraus lässt sich die These ableiten, dass Personen mit einer geringen Affinität zu agilen Ansätzen seltener eine Studienteilnahme in Erwägung gezogen haben.

Ergebnisse der Studie

Da in der quantitativen Studie verschiedene Aspekte untersucht wurden, werden die Ergebnisse wie folgt unterteilt:

⁵² Dies war zumeist das Ziel, wenn aus einem Satz an Kriterien diejenigen Kriterien identifiziert werden sollten, die ein großes Potential für eine Optimierung aufwiesen.

- *Teilnehmende und Agilitätsverständnis*
- *Ziele beim Einsatz agiler Ansätze*
- *Einflüsse auf den wahrgenommenen Mehrwert von agilen Ansätzen*
- *Einflüsse auf die Akzeptanz gegenüber agilen Ansätzen*

Die weiteren Erkenntnisse sind in der angegebenen Publikation dargelegt.

Teilnehmende und Agilitätsverständnis

In Abbildung 4.4 wird der durchschnittliche Studienteilnehmende anhand von Durchschnittswerten vorgestellt.

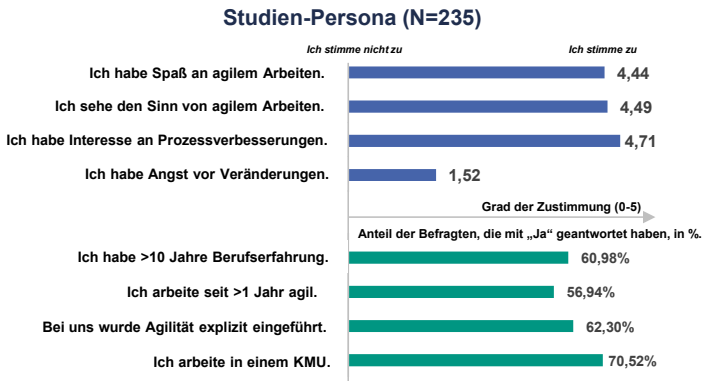


Abbildung 4.4: Charakteristik des durchschnittlichen Teilnehmenden an der Studie bei N=205 in Anlehnung an Kaiser (2020b, S. 8)

Beachtlich ist die grundsätzlich überwiegend positive Einstellung der Teilnehmenden in Bezug auf agiles Arbeiten. Demnach ist der Spaß des durchschnittlichen Teilnehmenden mit einem Wert von 4,44 im Bereich von hoch bis sehr hoch, die Teilnehmenden erkennen die Sinnhaftigkeit hinter dem Einsatz agiler Ansätze (4,49) und stehen auch Prozessverbesserung sehr positiv gegenüber (4,71). Gleichzeitig scheuen die Teilnehmenden im Durchschnitt tendenziell keine Veränderungen (Angst vor Veränderungen 1,52 = sehr gering - gering). Dabei weisen die meisten der Teilnehmenden (knapp 61%) mehr als 10 Jahre Berufserfahrung auf. Außerdem haben mehr als die Hälfte der Teilnehmenden (56,94%) mehr als 1 Jahr Erfahrung in der Anwendung agiler Ansätze. In der überwiegenden Anzahl der betrachteten

Fälle (62,3%) wurden agile Ansätze explizit eingeführt⁵³. Über 70% der Teilnehmenden waren in kleinen bis mittelständischen Unternehmen beschäftigt.

Die durchschnittlich hohe Ausprägung des Spaßes an agilem Arbeiten verstärkt die genannte These, dass die Teilnehmenden der Studie agilen Ansätzen affin sind. Dies kann einen verzerrenden Effekt auf die Studienergebnisse haben. Dieser Umstand wird im Folgenden in der Diskussion des Agilitätsverständnisses, der Mehrwerts- sowie Akzeptanzkriterien berücksichtigt.

In Abbildung 4.5 ist zu erkennen, dass der Anteil an Teilnehmenden aus dem Bereich des produzierenden Gewerbes über der Hälfte der Befragten liegt (Automobil (26%), Maschinen- und Anlagenbau (20%), Elektronik & Elektromaschinenbau (9%), Luft und Raumfahrt (4%) sowie Teile der Kategorie *Andere*). Außerdem stellt die Branche der Softwareentwicklung einen Gesamtanteil von mindestens 23% der Teilnehmenden dar. Somit sind die Domänen, die in heutigen und zukünftigen Entwicklungsprojekten kollaborieren, vertreten. Die Ergebnisse der Studie lassen sich demnach als repräsentativ für Vorhaben in der Mechatroniksystementwicklung erachten, an denen Entwickler verschiedener Domänen partizipieren. Einen detaillierteren Einblick in das Studiendesign sowie die Studienqualitätssicherung gewährt die durch den Autor co-betreute Abschlussarbeit (S. Kaiser, 2020a, S. 33–64)⁵⁴.

⁵³ In gegenteiligen Fällen arbeiten Teams agil, ohne dass ein Ansatz explizit eingeführt wurde.

⁵⁴ Hierbei gilt es zu beachten, dass in der Abschlussarbeit neben den hier beschriebenen Branchen zusätzlich die Finanzbranche untersucht wurde.

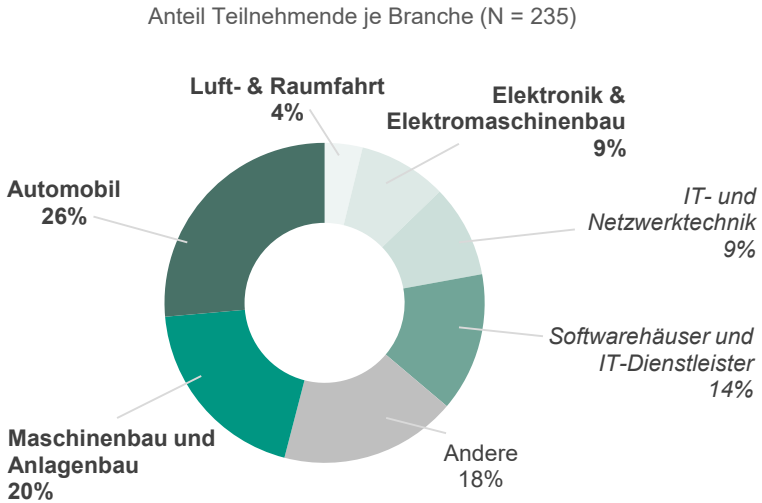


Abbildung 4.5: Übersicht über den Anteil der Teilnehmenden je Branche (N=205)

In der Frage nach den Bedeutungen agilen Arbeitens aus Sicht der Teilnehmenden überwiegen die positiven Eigenschaften von Agilität. Insbesondere die Eigenschaften *schnell auf unvorhersehbare Ereignisse reagieren zu können* (21%), *dem Kunden konkrete Ergebnisse in kurzen Zeiträumen (in wenigen Wochen) zu übergeben* (17%) und *sich innerhalb eines Teams selbst zu organisieren* (17%) werden als Eigenschaften von agil arbeitenden Teams verstanden (siehe Abbildung 4.6).

Bedeutung von Agilität aus Sicht der Teilnehmenden

Agilität bedeutet für mich, ...

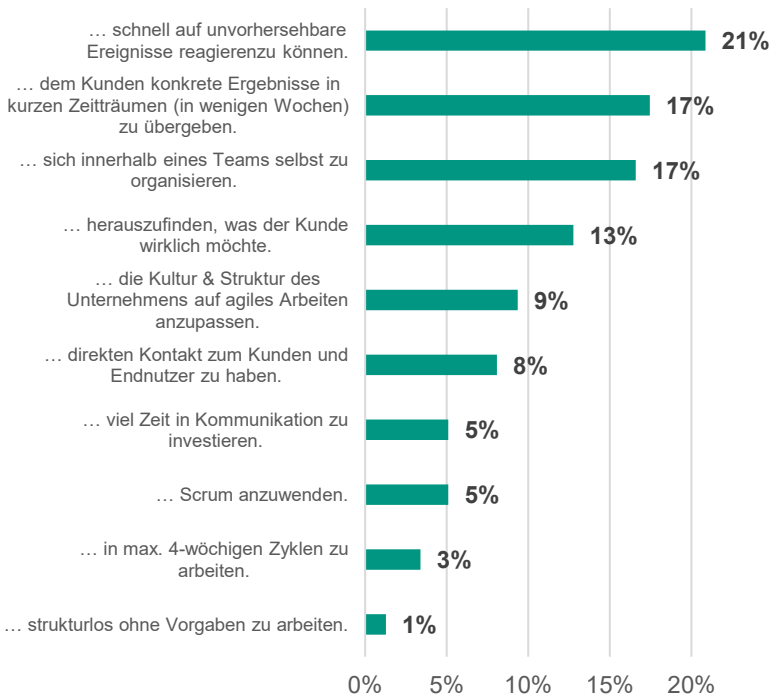


Abbildung 4.6: Bedeutung von Agilität aufgetragen nach prozentualer Häufigkeit der Nennung (N=205) in Anlehnung an Kaiser (2020a, S. 78)

Im Fokus des quantitativen Verständnisses aus der Praxis stehen demnach ähnliche Aspekte, wie diejenige, die in der explorativen Studie identifiziert (siehe Abschnitt 4.2.1) sowie aus der Verdichtung vorhandener Definitionen abgeleitet wurden (siehe Abschnitt 4.1). Demnach sind Flexibilität, Kundenorientierung, Reaktionsfähigkeit sowie das Entwickeln in selbstorganisierten Teams auch in der Entwicklung mechatronischer Systeme zentrale Elemente, die agiles Arbeiten fördern kann. Dies sind zudem Anforderungen an agile Elemente, die in die Prozesse

der Mechatroniksystementwicklung integriert werden. Zugleich werden diese Zielsetzungen allesamt durch entsprechende Grundprinzipien des ASD – Agile Systems Design adressiert. Allerdings zeigen die Ergebnisse der Studie auch, dass kein einheitliches Agilitätsverständnis in der Praxis existiert. Die hier aufgeführten Erkenntnisse sind aufgrund der hohen Affinität der Teilnehmenden gegenüber agilem Arbeiten lediglich für Personen gültig, die Agilität gegenüber positiv gesonnen sind.

Ziele beim Einsatz agiler Ansätze

Um prospektiv geeignete agile Elemente in die jeweiligen Entwicklungsprozesse von Unternehmen der Mechatronikbranche einzuführen, ist die Kenntnis über die verfolgten Ziele, die mit dem Einsatz agiler Ansätze verbunden sind, maßgeblich. Auf dieser Grundlage können spezifische Anwendungsfälle durch die Auswahl und Anpassung eines geeigneten agilen Elements gezielter unterstützt werden. Um Ziele aus Sicht der Praxis einschätzen zu können, wurden in der quantitativen Studie Vorschläge bezüglich möglicher Ziele vorbereitet. Aus diesen konnten die Teilnehmenden der Studie die aus ihrer Sicht bis zu drei relevantesten auswählen⁵⁵ (vgl. Abbildung 4.7). Die Vorschläge entstanden auf Basis der explorativen Studie (4.2.1) sowie Expertenmeinungen aus 4.2.2.

Es ist eindeutig festzustellen, dass agile Ansätze insbesondere zur Ermöglichung der Flexibilität und Reaktionsfähigkeit gegenüber Umgebungs- und Anforderungsänderungen eingesetzt werden sollen. 20% der Nennungen berücksichtigten fielen auf dieses Ziel. Auch die Ziele *frühe und kontinuierliche Validierung realisieren* (ca. 15% der Nennungen), *verbessern des Teamaufbaus und der Teamorganisation* (ca. 13% der Nennungen), *Steigerung der Kundenzufriedenheit* (ca. 12% der Nennungen) und *Verkürzung der Time-to-Market* (ca. 11% der Nennungen) führen aus Sicht der Teilnehmenden zu dem Wunsch, Agilität in die Prozesse einzuführen.

⁵⁵ Hier wurde von der Möglichkeit, zusätzliche Ziele einzugeben, abgesehen. Vielmehr bestand die Möglichkeit, weniger als 3 Ziele auszuwählen.

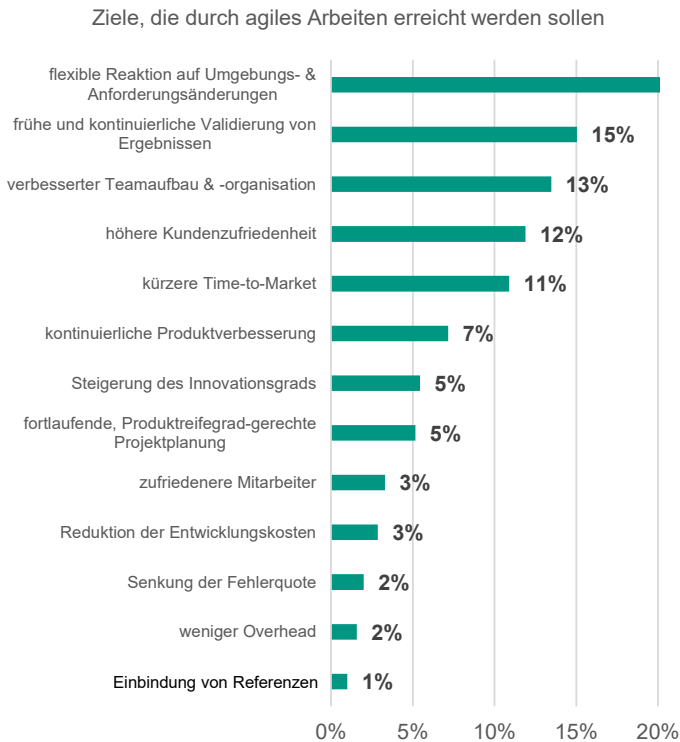


Abbildung 4.7: Übersicht über die Ziele, die mit dem Einsatz agiler Ansätze erreicht werden sollen nach Anteil an Gesamtnennungen (N=205) in Anlehnung an Kaiser (2020a, 79ff.)

Die *Einbindung von Referenzen* ist mit knapp 1% das Ziel, das am seltensten als treibend für den Einsatz agiler Ansätze gewählt wurde. Insbesondere die Ansätze Scrum, Kanban oder auch Design Thinking bieten keine expliziten Mechanismen, um bestehendes Produktwissen systematisch in den Entwicklungsprozess zu integrieren (Heimicke, Niever et al., 2019). Dies deutet darauf hin, dass ein agiler Ansatz alleine dieses in der Entwicklung nach dem Modell der PGE – Produktgenerationsentwicklung zentrale Ziel nicht bewerkstelligen kann. Hier besteht eine relevante Anforderung für die Anwendung agiler Ansätze in der Mechatroniksystementwicklung.

lung. Teams sollen reaktionsfähig sein und es soll zugleich das in der Mechatroniksystementwicklung erfolgskritische Einbinden von Referenzen ermöglicht werden. Diese Aspekte müssen durch eine Prozesslösung integriert und bei der Einführung agiler Elemente adressiert werden. Allerdings ist zu beachten, dass nicht vollständig nachvollzogen werden kann, was die Befragten unter dem Begriff der Referenz verstanden haben.

Die Erkenntnisse bezüglich des Verständnisses von Agilität und Zielsetzungen in Verbindung mit agilem Arbeiten stellen Randbedingungen dar, die durch zukünftig entwickelte Methoden und Prozesslösung zur Förderung des agilen Arbeitens berücksichtigt werden müssen.

Einflüsse auf den wahrgenommenen Mehrwert von agilen Ansätzen

Eine zentrale und zugleich Anwendungsfall-abhängige Eigenschaft agiler Ansätze, die ihre nachhaltige Einführung und Nutzung in den Prozessen der Mechatroniksystementwicklung beeinflusst, ihr erzeugter wahrgenommener Mehrwert. Basierend auf der explorativen Studie aus Abschnitt 4.2.1 und der Analyse der Unterschiede in den erwarteten und tatsächlichen Effekten agiler Ansätze in den Prozessen der Mechatroniksystementwicklung (Schmidt, Weiss & Paetzold, 2018b) wurden 8 Kriterien identifiziert, die zur weiteren Einschätzung des Mehrwerts aus der Anwendung agiler Ansätze genutzt werden. Diese wurden mittels entsprechender Fragen den Teilnehmenden des jeweiligen Weges im Fragebogen gestellt. So erhielten die Personen, die nicht agil arbeiten, agile Ansätze jedoch kennen, Fragen hinsichtlich ihrer Erwartungen, während die Personen, die bereits agil arbeiten, Fragen hinsichtlich ihrer Erfahrungen in der Anwendung agiler Ansätze beantworteten⁵⁶. 5-stufige Likert-Skalen stellten jeweils die Antwortoptionen dar.

Die Erfolgskriterien, hinsichtlich derer in der vorliegenden Arbeit wahrgenommener und erwarteter Mehrwert gemessen werden, sind:

- Produktivitätssteigerung
- Verbesserung des selbstorganisierten Arbeitens
- Steigerung der Ergebnisqualität
- Verbesserung des Produktentstehungsprozesses

⁵⁶ Beispielsweise wurde eine Person, die derzeit nicht agil arbeitet gefragt: *Sofern wir agile Arbeitsweisen einführen würden, wären meine Erwartungen eine gesteigerte Produktivität.* Eine Person, die bereits agil arbeitet, erhielt die Aussage: *Gefühlt haben wir unsere Produktivität gesteigert.* Beide konnten auf einer 5-stufigen Likert-Skala zustimmen oder ablehnen.

- Steigerung der Kundenzufriedenheit
- Steigerung der Kundenintegration
- Verbesselter Umgang mit Komplexität
- Steigerung der Reaktionsfähigkeit

Zur Auswertung und Gegenüberstellung der Meinungen der Teilnehmenden wurden die Häufigkeiten der Antwortmöglichkeiten in Bezug auf die jeweiligen zu den Kriterien gehörigen Fragen gezählt und die Mittelwerte verglichen (vgl. Abbildung 4.8).

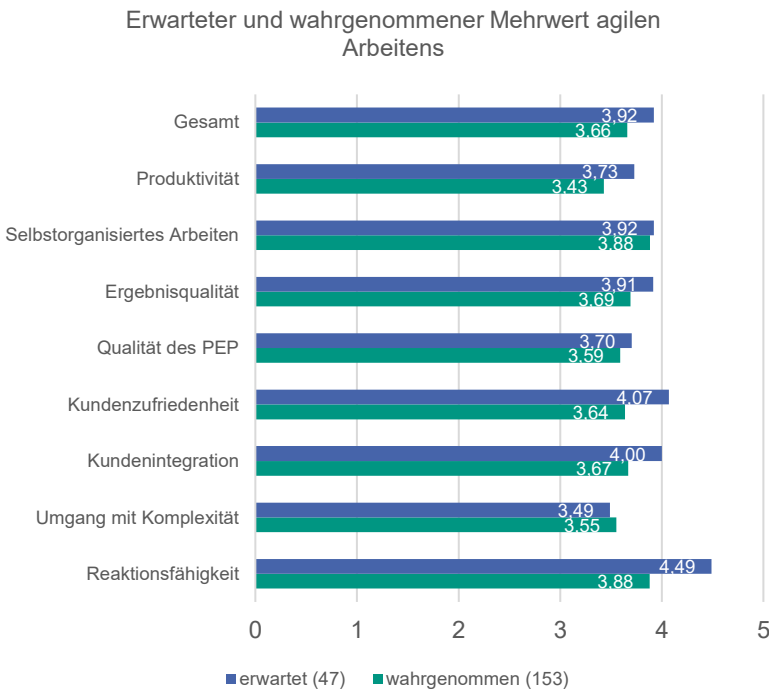


Abbildung 4.8: Mittelwerte der Kriterien bezüglich des erwarteten (N=47) und wahrgenommenen (N=153) Mehrwerts in Bezug auf agiles Arbeiten in Anlehnung an Kaiser (2020a, S. 88)

Außer in dem Kriterium *Umgang mit Komplexität* ist in allen Kriterien die erwartete Verbesserung höher als die tatsächlich erfahrene. Insbesondere in den Kriterien *Kundenzufriedenheit* ($\Delta = 0,43$) und *Reaktionsfähigkeit* ($\Delta = 0,61$) übersteigen die Erwartungen die Erfahrungen stark. Aus der Gegenüberstellung in Abbildung 4.8 lässt sich also die Vermutung formulieren, dass die tatsächliche Anwendung agiler Ansätze nicht vollständig die Erwartungen in Bezug auf den sich einstellenden Mehrwert erfüllt⁵⁷. Um einen Richtwert bezüglich des kombinierten erwarteten sowie wahrgenommenen Mehrwert zu erhalten, wurde die durchschnittliche erwartete sowie wahrgenommene Verbesserung über die Kriterien hinweg errechnet. So lässt sich eine Differenz von 0,26 zwischen erwartetem ($m_e = 3,92$) und wahrgenommenem ($m_w = 3,66$) Mehrwert feststellen.

Unter statistischer Analyse mittels T-Test lässt sich zudem belegen, dass der Unterschied nicht zufällig ist, sondern für die Grundgesamtheit gilt, dass der wahrgenommene Mehrwert agiler Ansätze nicht die Erwartungen erfüllt. Die Analyse zeigt, dass der Mittelwert des erwarteten Mehrwerts größer ist als derjenige des tatsächlichen Mehrwerts (da $t(81,61) = 2,36 > 0$; $p = 0,021$; $d = 0,26$)⁵⁸. Bereits Schmidt et al. (2018b) postulieren dieses Phänomen in ihrer Studie.

Einflüsse auf die Akzeptanz gegenüber agilen Ansätzen

Um im weiteren Verlauf der Forschungsarbeit Faktoren zu identifizieren, die die Akzeptanz des Handlungssystems gegenüber agilem Arbeiten beeinflussen, wurden verschiedene Faktoren (basierend auf Reiß (2018)) durch die Umfrageteilnehmenden hinsichtlich ihres Status quo bewertet. Die Faktoren werden als Akzeptanzkriterien bezeichnet und sollen ein Indikatorsystem zur Analyse der Akzeptanz eines Handlungssystems gegenüber agilem Arbeiten darstellen. Die Faktoren sollen im weiteren Verlauf der Forschungsarbeit Teil der Erfolgsprüfung nach der Einführung einer individuellen agil-strukturierten Prozesslösung durch die in der Arbeit entwickelte Methodik darstellen (siehe Kapitel 6). Zunächst wurden die Teilnehmenden, die angaben, bereits agil zu arbeiten, nach ihrer persönlichen Akzeptanz sowie ihrer Einstellung gegenüber agilem Arbeiten gefragt (siehe Abbildung 4.9).

⁵⁷ Es ist jedoch anzumerken, dass die Unterschiede nicht sehr groß sind und die Konstrukte, die die Dimensionen festlegen, z.T. recht unscharf sind. Außerdem stammen die Antworten zu erwartetem und wahrgenommenem Mehrwert von verschiedenen Personen, womit subjektive Effekte nicht auszuschließen sind.

⁵⁸ Mit einer mittleren Signifikanz von $\sigma = 0,021$ wird die Nullhypothese *Es existiert kein Unterschied in den Mittelwerten der Stichproben* verworfen (da $\sigma < 0,5$). Zudem lässt sich ein schwacher Effekt nach COHEN (2013) beobachten.

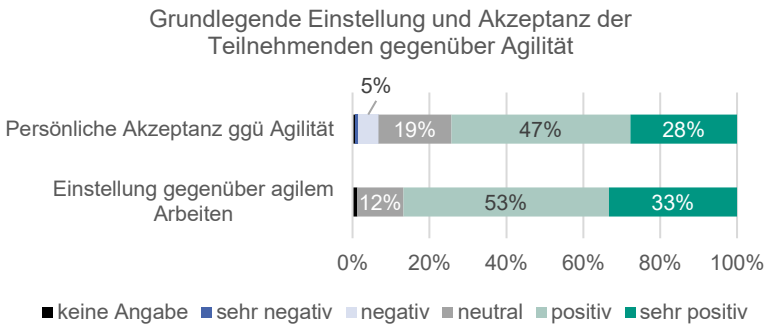


Abbildung 4.9: Übersicht über die Verteilung in Bezug auf persönliche Akzeptanz der Teilnehmenden (N=153) gegenüber Agilität sowie auf Einstellung gegenüber agilem Arbeiten. Verwendet wurde eine Likert-Skala. In Anlehnung an (Heimicke, Kaiser & Albers, 2021)

Die Ergebnisse bestätigen die bereits bestehende Annahme, dass die Teilnehmenden grundlegend positiv agilem Arbeiten gegenüber eingestellt sind und den eingesetzten Ansätzen eine überdurchschnittliche Akzeptanz entgegenbringen. Dieser Aspekt ist insbesondere in der Interpretation der Ergebnisse relevant. Mit dem Ziel, Akzeptanz gegenüber agilem Arbeiten Kriterien-spezifisch zu messen, wurden die folgenden Kriterien, die einen Einfluss auf die Akzeptanz gegenüber agilen Ansätzen haben, erarbeitet. Die Herleitung dieser Kriterien inklusive der relevanten Literaturstellen lassen sich in (S. Kaiser, 2020a, 14ff.) nachvollziehen und wurden zudem in der Publikation (Heimicke, Kaiser & Albers, 2021) unter Federführung des Autors aufgegriffen.

- Abstimmungsaufwand
- Angst des Individuums vor Veränderung
- Verlust von Arbeitsstrukturen
- Transparenz in der Kollaboration
- Kooperation mit Führungskraft/Team
- Notwendigkeit der Methodenanpassung bei Einführung
- Notwendige wahrgenommene Disziplin in der Anwendung
- Klarheit in der Methodenbeschreibung
- Wahrgenommene Komplexität der Methode
- Eignung der Methode zur Anwendung im jeweiligen Kontext

- Persönliches Interesse
- Lösung von Problemen durch die Methodenanwendung
- Eigene Rolle im Team (in der Methodenanwendung)
- Nachvollzogene Sinnhaftigkeit von agilem Arbeiten
- Spaß an der Methode
- Wahrgenommene Änderung der Unternehmenskultur & -Struktur
- Verständnis für Veränderung
- Wahrgenommener Mehrwert der Methode
- Zufriedenheit in der Methodenanwendung

Diese Kriterien wurden in der Umfrage durch diejenigen Teilnehmenden bewertet, die angaben, bereits agil zu arbeiten. Gefragt wurde jeweils, wie sich das jeweilige Kriterium durch die Einführung bzw. Anwendung agiler Ansätze verändert hat. Ein Auszug der Ergebnisse ist Abbildung 4.10 zu entnehmen (detaillierter in Heimicke, Kaiser und Albers (2021) sowie S. Kaiser (2020a, 97ff.) nachzuvollziehen).

In der Gesamtheit lässt sich feststellen, dass die realen Ausprägungen der Kriterien überwiegend auffällig nah an den Idealausprägungen liegen. Als Ausreißer lassen sich eine durchschnittlich *geringe Änderung der Unternehmenskultur und -Struktur*, ein, verglichen mit dem Ausgangszustand, *überdurchschnittlich erhöhter Abstimmungsaufwand* und eine lediglich *geringfügig verbesserte Kooperation zwischen Management und Team* feststellen (siehe Abbildung 4.10, als Orientierung dienen Durchschnitt und Idealzustand). Für den weiteren Verlauf der Forschungsarbeit lässt sich festhalten, dass die Akzeptanz gegenüber agilen Ansätzen in den akzeptanzspezifischen Kriterien überwiegend positiv ist, jedoch die Einschränkung getätigt werden sollte, dass die Teilnehmenden agilen Ansätzen gegenüber generell positiv gestimmt sind und somit einen positiv-verfälschenden Umfragebias in die Auswertung einbringen könnten. Unter Nutzung der im weiteren Verlauf der Arbeit entwickelten Methodik (siehe Kapitel 0) sollen die Akzeptanzkriterien positiv beeinflusst werden, um eine nachhaltige Einführung von Agilität zu begünstigen. Die Akzeptanzkriterien werden zu diesem Zweck in der Erfolgsüberprüfung verwendet (siehe Kapitel 6).

Ausprägung der Akzeptanzkriterien bei den Befragten

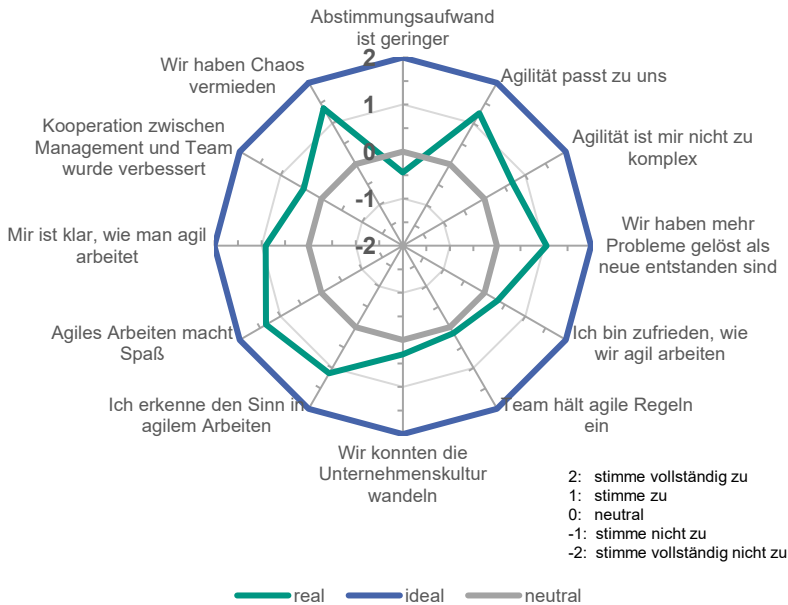


Abbildung 4.10: Reale Ausprägung der jeweiligen Akzeptanzkriterien (Auszug) in grün, neutrale Ausprägung in grau, sowie der Idealzustand unter der Annahme, dass die kriterienspezifische Akzeptanz gegenüber Agilität ideal ausgeprägt ist in blau (N=153). Siehe auch Heimicke, Kaiser und Albers (2021)

4.2.4 Zwischenfazit zum Einsatz agiler Ansätze in der Praxis

In der Praxis der Mechatroniksystementwicklung werden agile Ansätze bereits in ausgewählten Anwendungsfällen genutzt – auf eine grundlegende Verbreitung über ganze Unternehmen in der Mechatronik Branche hinweg, kann jedoch nicht geschlossen werden. Sowohl das Verständnis von Agilität als auch die Ziele, die durch den Einsatz agiler Ansätze erreicht werden sollen, divergieren stark. Darauf konnte sowohl die explorative Studie (vgl. 4.2.1) hinweisen als auch die quantitative Studie

(vgl. 4.2.3) bestätigen. Zumeist wurden jedoch eine Steigerung von Kundenintegration, Reaktionsfähigkeit und Planungseffizienz als Motivatoren für den Einsatz agiler Ansätze durch die Studienteilnehmenden und befragten Experten angegeben.

In der quantitativen Studie konnte gezeigt werden, dass sowohl die Akzeptanz gegenüber agilen Ansätzen als auch der wahrgenommene Mehrwert, den diese Ansätze im Entwicklungsprozess hervorrufen auf einem positiven Niveau lagen⁵⁹ (vgl. 4.2.3). Es konnte jedoch gezeigt werden, dass der erwartete Mehrwert signifikant höher als der sich tatsächlich einstellende Mehrwert, den agile Ansätze hervorrufen, ist. Empfehlenswert ist basierend auf den Erkenntnissen der quantitativen Studie insbesondere die Steigerung von Kundenintegration, -Zufriedenheit und der Reaktionsfähigkeit, da hier Erwartungen und Realität am weitesten auseinanderliegen. Zur Steigerung der Akzeptanz gegenüber agilen Ansätzen konnten vor allem Faktoren als Stellgrößen identifiziert werden, die kulturell verankert sind. So sollte die Kooperation zwischen Management und Team im tatsächlichen agilen Arbeiten verbessert werden und eine tatsächliche Veränderung in der Unternehmenskultur durch eine agile Transformation wahrgenommen werden. Die beschriebenen Erkenntnisse dienen im weiteren Verlauf der Ausrichtung der zu entwickelnden Methodik an den tatsächlichen Bedarfen der Praxis.

4.3 Identifikation von Einflüssen auf die agilen Fähigkeiten von Organisationseinheiten

Dieser Abschnitt basiert auf Erkenntnissen, die in den durch den Autor federführend getriebenen Publikationen (Albers, Heimicke, Trost & Spadinger, 2020; Albers, Heimicke & Trost, 2020) veröffentlicht und in der durch den Autor co-betreuten Abschlussarbeit (Trost, 2020)⁶⁰ behandelt wurden.

Nach Kenntnis derjenigen Faktoren, die im Zuge der Prozessverbesserung durch die Einführung agiler Elemente als Erfolgskriterien herangezogen werden können (vgl. Abschnitt 4.2.3), ist es in der weiteren Bedarfsermittlung relevant, die möglichen Stellgrößen für eine gezielte Prozessverbesserung zu identifizieren. Zu diesem Zweck erfolgt die Beantwortung der folgenden Forschungsfrage.

⁵⁹ Relativieren muss man hier durch den in Abschnitt 4.2.3 beschriebenen Positivbias der Teilnehmenden, der die durchschnittlichen Ergebnisse vermutlich in die positive Richtung bewegte.

⁶⁰ Unveröffentlichte Abschlussarbeit (co-betreut)

FF I_{III}: Welche Faktoren beeinflussen die agilen Fähigkeiten verschiedener Organisationseinheiten in der Entwicklung mechatronischer Systeme?

Da die jeweils angestrebte Verbesserung Anwendungsfall-spezifisch und damit analog zur Forschungshypothese individuell⁶¹ ist, ist die jeweils relevante Auswahl an Stellgrößen ebenfalls in jedem Anwendungsfall verschieden. Um jedoch in der zu entwickelnden Methodik ein möglichst breites Anwendungsspektrum an Transformationsvorhaben zu adressieren und der Anforderung der Skalierbarkeit von agilen Ansätzen zu genügen, wurde zunächst eine Sammlung von möglichen Einflussfaktoren auf die agilen Fähigkeiten des Handlungssystems erarbeitet. Diese Sammlung dient bei der späteren Einführung agiler Elemente als Katalog, mittels welchem der Transformationsprozess über die gezielte Auswahl von zu verbessernden Faktoren geführt werden kann. Als Einflussfaktor auf die agilen Fähigkeiten des Handlungssystems wurden in der Analyse diejenigen Faktoren verstanden, die einen Einfluss auf die Ausübung von Aktivitäten, Methoden und Prozessen haben oder auch den Umgang mit notwendigen Ressourcen im Entwicklungsprozess in ihrer Umsetzung von agilen Werten, Prinzipien, Methoden oder Praktiken beeinflussen (Entwickelnde, Ausstattung, Budget etc.) (Atzberger, Wallisch et al., 2020; Meboldt, 2009, S. 159). Aufgrund der Vielfalt an möglichen Elementen im Handlungssystem und deren Ausprägung wurden zudem analog zu Diebold et al. (2015) sowohl Faktoren, die die technische Agilität (Methoden, Praktiken) als auch die kulturelle Agilität beeinflussen (Werte, Prinzipien). (Albers, Heimicke, Trost & Spadinger, 2020)

Vorgehen in der Studie

Um eine möglichst große Breite in der Sammlung der Einflussfaktoren auf die agilen Fähigkeiten von Handlungssystemen zu erhalten, wurde die Faktorenermittlung dreistufig durchgeführt. Hierbei wurde zum einen eine Kurzumfrage über die Feedback-Applikation Mentimeter®, ein Expertenworkshop sowie zur Absicherung der in den ersten beiden Stufen identifizierten Faktoren eine breite Literaturrecherche durchgeführt. (Albers, Heimicke, Trost & Spadinger, 2020)

Die Mentimeterumfrage wurde in Themengruppen, die Experten aus der agilen Entwicklung in der Praxis miteinander vernetzen über die Karrierenetzwerke *LinkedIn*® und *Xing*® verteilt. Gefragt wurde: „*Was hemmt die Fähigkeit von Entwicklern auf*

⁶¹ Erklärung zum Aspekt der Individualität aus der Forschungshypothese (vgl. 3.1.2): In Anlehnung an die erste Grundhypothese nach Albers (2010) muss auch eine Transformation individuell erfolgen. Unterschiedliche Transformationsprojekte weisen demnach zwar Ähnlichkeiten auf, sind jedoch einzigartig. Diesem Fakt muss auch eine Methodik zur Unterstützung der agilen Transformation gerecht werden.

unvorhergesehene Änderungen reagieren zu können?“ Aus den Antworten der Teilnehmenden (insgesamt wurden 30 Antworten eingetragen) wurden geeignete Einflussfaktoren abgeleitet (siehe Abbildung 4.11). Demnach hat der Faktor *Umgang mit Zeitmangel* Einfluss auf die Ausübung agiler Fähigkeiten im Handlungssystem.

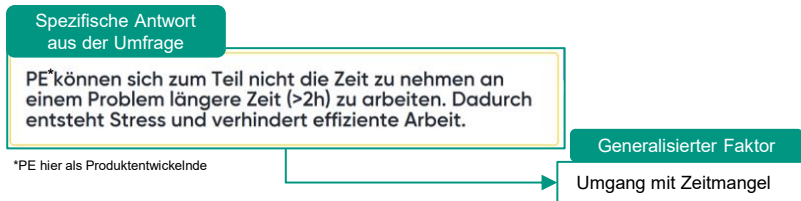


Abbildung 4.11: Auszug aus der Mentimeter-Umfrage und Visualisierung der Interpretation einer Aussage, um den Faktor *Umgang mit Zeitmangel* abzuleiten. In Anlehnung an (Trost, 2020, S. 140)

Zur Erweiterung der Einflussfaktoren auf die agilen Fähigkeiten des Handlungssystems wurde ein Workshop im Rahmen des ersten IPEK-Roundtables (Albers, Matthiesen & Ott, 2019) mit 24 Fachkundigen aus Praxis und Forschung in der agilen Produktentwicklung durchgeführt. Ziel des Workshops war es, Herausforderungen aus der Praxis zu identifizieren, die Auswirkungen auf die Ausübung von Agilität in Unternehmen haben. Die Experten wurden dazu angehalten, im Rahmen der Gariemethode Herausforderungen anhand der Cluster *Mensch*, *Organisation*, *Produkt* und *Prozess* zu sammeln. Diese wurden analog zu denjenigen aus der Mentimeter-Umfrage interpretiert und die Sammlung der Einflussfaktoren ergänzt. In Abbildung 4.12 sind Impressionen aus der Diskussions- und Arbeitsphase des Workshops sowie ein exemplarisches Gruppenergebnis dargestellt.



Abbildung 4.12: Impressionen aus dem IPEK-Roundtable: ASD – Agile Systems Design 2019 (links); ausgewählte Gruppenergebnisse: Sammlung von Herausforderungen agiler Arbeitsweisen in der Praxis (rechts)

Zuletzt wurde eine freie Literaturrecherche durchgeführt, um zum einen die in den beiden ersten Phasen identifizierten Faktoren hinsichtlich ihrer Relevanz zu bestätigen und zum anderen die generierte Sammlung zu erweitern. Mit dem Ziel, im weiteren Verlauf der Forschungsarbeit eine große Vielfalt an Anwendungsfällen der agilen Transformation und zudem für eine größtmögliche Vielfalt von Skalierungsebenen im Handlungssystem zu unterstützen, wurden die identifizierten Faktoren Gruppen zur Beschreibung des Produktentstehungskontexts aus der VDI *Entwicklung technischer Produkte und Systeme* (VDI2221:2019 Blatt 2, S. 12) zugeordnet (siehe auch (Gericke et al., 2013). Kontextgruppen, die eine geringe Anzahl an zugeordneten Faktoren aufwiesen, wurden in der Recherche priorisiert, so dass zusätzliche Faktoren, die in diese Kontextgruppe die agilen Fähigkeiten der entsprechenden Organisationseinheit beeinflussen, priorisiert identifiziert werden konnten. (Albers, Heimicke, Trost & Spadinger, 2020; Trost, 2020, 55ff.)

Ergebnisse der Studie

Umfrage, Workshop sowie Literaturrecherche lieferten in Summe 228 Faktoren, die einen möglichen Einfluss auf die Ausübung der agilen Fähigkeiten von Organisationseinheiten des Handlungssystems haben. Eine Gesamtübersicht der Faktoren findet sich in Anhang E, eine Erklärung der Faktoren sowie eine Übersicht über den jeweiligen Literatur- oder Ursprungsverweis in Albers, Heimicke, Trost und Spadinger (2020) sowie Trost (2020, 146ff.). Zur weiteren Handhabung der Faktoren wurden die Gruppen⁶², denen sie zugeordnet wurden, an das Verständnis der KaSPro (2.2.7) angepasst (siehe Tabelle 7). Die hervorgehobenen Handlungsfelder wurden hierbei im Gegensatz zur VDI2221 ergänzt oder umbenannt, da unter den beschriebenen Forschungsprämissen das Verständnis der Produktentwicklung in der vorliegenden Arbeit dem Modell der PGE – Produktgenerationsentwicklung nach Albers folgt.

Tabelle 7 ist zudem die Anzahl der Faktoren je Handlungsfeld zu entnehmen, die im jeweiligen Handlungsfeld wirken. Neben der Zuordnung zu den weiterentwickelten Handlungsfeldern wurden die Faktoren denjenigen Grundprinzipien des ASD – Agile Systems Design zugeordnet, deren Realisierung einen positiven Einfluss auf den jeweiligen Faktor hat.

⁶² Die Gruppen nach VDI2221 Blatt 2 werden im weiteren Verlauf der Arbeit *Handlungsfelder* genannt.

Tabelle 7: Anzahl der Einflussfaktoren auf die agilen Fähigkeiten von Organisationseinheiten je Handlungsfeld

Kontextebene	Handlungsfeld	# Faktoren
1 Unternehmen	1.1 Branche	4
	1.2 Unternehmensstruktur	4
	1.3 Arbeitsumfeld	12
	1.4 Unternehmensstrategie	11
	1.5 Unternehmenskultur	17
	1.6 Produktionssystem	7
	1.7 Stakeholder	4
	1.8 Zulieferer	8
	1.9 Validierungssystem	1
2 Führung	2.1 Werte, Leitmotiv	3
	2.2 Führungsstil	10
	2.3 Führungskompetenz	2
	2.4 Unternehmensleitung	2
3 Projekt	3.1 PGE – Produktgenerationsentwicklung	5
	3.2 Projektmanagement	19
	3.3 Produktentwicklungsteam	12
	3.4 Erwartungen an Entwicklungsergebnisse	3
	3.5 Projektumfeld	12
	3.6 Entwicklungsauftrag	16
	3.7 Einsatz von Methoden und Tools	15
	3.8 Prototyping	3
	3.9 Validierung	6
4 Individuum	4.1 Wissen	2
	4.2 Kompetenzen und Fertigkeiten	12
	4.3 Individuelle Denk- und Arbeitsweise	1
	4.4 Persönlichkeitsmerkmal	11
	4.5 Motivation und Emotion	3
	4.6 Leistungsvermögen	0
	4.7 Arbeitsergebnisse	0
	4.8 Integrations- und Kooperationsvermögen	2

Demnach ist jeder der 228 identifizierten Faktoren einer Kontextebene nach Hales & Gooch, einem Handlungsfeld nach der VDI 2221:2019 Blatt 2 bzw. Gericke et al. (2013) sowie den entsprechenden Grundprinzipien des ASD – Agile Systems Design zugeordnet. Hieraus ergibt sich die Zuordnung gemäß Tabelle 8 (hier am Beispiel des Handlungsfeldes 3.1 *PGE – Produktgenerationsentwicklung*, dem 5 der 228 Faktoren zugeordnet sind).

Tabelle 8: Fünf Einflussfaktoren auf die agilen Fähigkeiten von Organisationseinheiten, aus dem Handlungsfeld 3.1 PGE – Produktgenerationsentwicklung mit Erklärung und Zuordnung zu den Grundprinzipien des ASD. (Albers, Heimicke, Trost & Spadinger, 2020) in Anlehnung an TROST (2020, 163f.)

Faktoren	Beschreibung des Faktors	Zusammenfassung ASD-Prinzipien									
		ASD9 Mensch im Zentrum	ASD8 Fülle und Prozess sind skalierbar, faktual und adaptierbar	ASD7 Profil, Iteration & Marketingprozesse	ASD6 Produktentwicklungsgeschwindigkeit	ASD5 Aktivitäten passen sich an Problemstellung an	ASD4 Kontinuierliche Innovation	ASD3 Kontinuierliche agilen Entwicklung	ASD2 Jedes Projekt ist einzigartig und individuell	ASD1 Mensch im Zentrum	
Neuentwicklungsanteil bewusst festgelegt	Der Neuentwicklungsanteil nach dem Modell der Produktgenerationsentwicklung (Gestaltvariation, Prinzipvariation) birgt Unsicherheiten im Produktentstehungsprozess und sollte stets berücksichtigt werden. Ein hoher Neuentwicklungsanteil führt zu größeren Unsicherheiten und damit einem höheren Risiko. Daher sollte mit dem Neuentwicklungsanteil in einem Projekt bewusst umgegangen werden, beispielsweise indem man im Vorfeld eines Projekts entscheidet, inwiefern "plandrivn" oder "agil" gearbeitet wird.			x	x			x			2 3 6
Branchenübergreifende Verfügbarkeit von Referenzsystemen	Der Entwicklung einer neuen Produktgeneration liegen immer bestehende Lösungen zu Grunde sowie deren Teilsysteme und Struktur. Referenzlösungen können und sollten neben firmeneigene Vorgängerprodukte oder Wettbewerbsprodukte, auch branchenfremde Produkte sein sowie unternehmenseigene Systeme, die noch nicht oder nie Marktreife erreicht haben.					x		x			4 6
Pflegen der Wissensbasis	Die Wissensbasis sollte ständig gepflegt werden und für alle Entwickler stets erreichbar sein. Somit können neben Zeitersparnis auch eine Qualitätssteigerung, höhere Motivation, größere Innovationskraft und eine höhere Sicherheit erreicht werden. Die Aktivität "Wissen managen" sollte eine kontinuierliche Aktivität über den Produktentstehungsprozess sein.			x		x		x		x	2 4 6 8
Dokumentation im richtigen Umfang	Der Umfang der Dokumentation sollte in einem adäquaten Maß sein und regelmäßig überprüft werden. Wichtig ist, dass Mitarbeitern auch über Projekte und Produktgenerationen hinweg eine gute Rückverfolgbarkeit ("traceability") von Entscheidungen gewährleistet wird. Dies ist wichtig um Entscheidungen über Ziele, Randbedingungen und Anforderungen jederzeit nachvollziehen zu können und dient ebenfalls als Basis zukünftiger Projekte, Prozesse und Produkte.			x		x	x	x		x	2 4 5 6 8
Systematische Suche nach Referenzen	Es wird gezielt und systematisch nach Referenzsystemen und Elementen der Referenzsysteme gesucht, um neue Lösungsansätze zu erlangen. Dies hilft dabei, das Kreativitätspotential der Entwickler voll auszuschöpfen, durch bewusstes Stimulieren der Kreativität im Prozess. Durch die neuen Anreize, Blickwinkel und den erweiterten Horizont der Entwickler und die gezielte Synthese ausgewählter Referenzsystemelemente, kann das Innovationspotential signifikant erhöht werden.	x				x	x	x	x		1 4 5 6 7

Einordnung der Erkenntnisse

Die in diesem Abschnitt erarbeiteten Einflussfaktoren auf die agilen Fähigkeiten von Organisationseinheiten lassen sich für zukünftige Transformationsvorhaben als

Stellgrößen nutzen. Hierbei wird es von hoher Relevanz sein, welche der Faktoren aus der entstandenen Sammlung für den jeweiligen Anwendungsfall die größte Stellwirkung beinhaltet. Aus der Anwendungsfall-spezifischen Faktorauswahl lässt sich zudem über die im Rahmen der Forschungsarbeit entstandene Zuordnung der Faktoren zu den Grundprinzipien des ASD – Agile Systems Design eine Anwendungsfall-spezifische Gewichtung der Prinzipien ableiten. Diese Information ermöglicht wiederum die Auswahl geeigneter Prozesse, Methoden und Praktiken, um entsprechende Grundprinzipien zu realisieren.

Die 9 Prinzipien des ASD

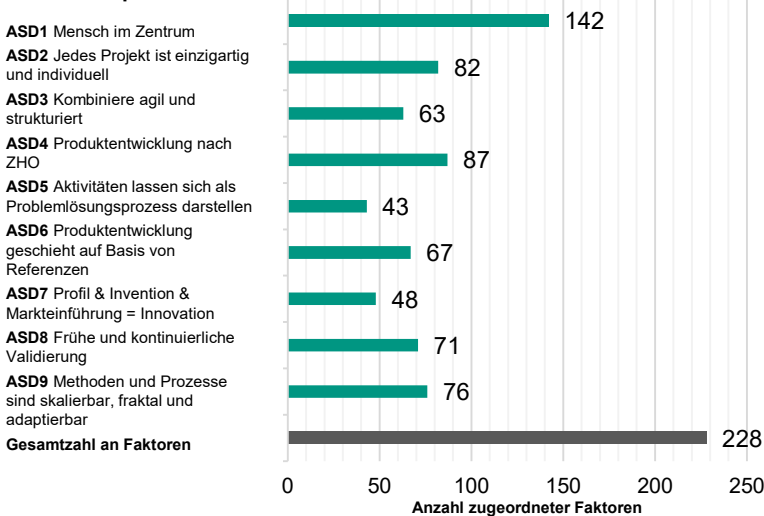


Abbildung 4.13: Anzahl an Faktoren, die den jeweiligen Prinzipien des ASD – Agile Systems Design zugeordnet sind, in Anlehnung an ALBERS, HEIMICKE UND TROST (2020) und TROST (2020, S. 79)

Aus der Gesamtzuordnung und unter der Erkenntnis, dass jeder Faktor mehreren Grundprinzipien zugeordnet werden kann, lässt sich, wie in Abbildung 4.13 dargestellt, schließen, dass in zukünftigen Transformationsvorhaben insbesondere das Grundprinzip der Menschorientierung eine zentrale Rolle spielen wird. Gemäß den Forschungsprämissen sind zwar die Prinzipien in ihrer Gesamtheit dazu geeignet,

agile Prozesse in der Entwicklung mechatronischer Systeme zu unterstützen, jedoch ist die Relevanz der Prinzipien abhängig vom Anwendungsfall und den hier jeweils priorisierten Stellgrößen. (Albers, Heimicke & Trost, 2020)

Diese Erkenntnisse werden im weiteren Verlauf der Forschungsarbeit dazu dienen, in der Anwendung der zu entwickelnden Methodik zur Unterstützung individueller Transformationsvorhaben die Identifikation anwendungsfallspezifischer Zielsetzungen verbunden mit geeigneten Stellgrößen zur Realisierung der Zielsetzung zu identifizieren. Der Prozess der Generierung geeigneter Prozesslösungen wird im weiteren Verlauf an die Optimierung dieser Stellgrößen ausgerichtet werden.

4.4 Zwischenfazit – ein Methodenprofil

In der Publikation Heimicke, Duehr et al. (2021), die unter Federführung des Autors entstand, sind die zentralen Ergebnisse und Erkenntnisse des folgenden Abschnitts publiziert. Zudem wurden diese Themen in der durch den Autor co-betreuten Abschlussarbeit Krüger (2020)⁶³ vertieft. Als Zusammenfassung der Deskriptiven Studie I wird die folgende Forschungsfrage in diesem Abschnitt beantwortet.

FF I.iv: Welche Anforderungen ergeben sich an die Einführung agiler Ansätze in die Prozesse der Entwicklung mechatronischer Systeme?

Die Erkenntnisse aus der Klärung des Forschungsbedarfs (siehe Kapitel 0) und der Deskriptiven Studie I (siehe Kapitel 0) werden zum Abschluss dieses Kapitels in einem Methodikprofil⁶⁴ konsolidiert, welches die gezielte und am Forschungsbedarf ausgerichtete Realisierung der Methodik unterstützt (siehe Abbildung 4.14). Insbesondere konnte gezeigt werden, dass agile Elemente lediglich vereinzelt in den Entwicklungsprozessen von Unternehmen der Mechatronikbranche vorzufinden sind und der Bedarf nach einem Vorgehen besteht, welches die Einführung von Agilität als individuelle Problemlösung gestaltbar macht. Ergänzend zum Methodikprofil ist anzumerken, dass als anbietende Forschende in der Produktentwicklung, als Kundinnen und Kunden diejenigen Unternehmen, die mittels der Methodik ihre Entwicklungsprozesse durch die Einführung agiler Elemente verbessern wollen und als Anwendende die Nutzenden der Methodik sowie die Entwickelnden, die anhand des verbesserten Prozesses agieren, verstanden werden.

⁶³ Unveröffentlichte Abschlussarbeit (co-betreut)

⁶⁴ In Anlehnung an das Produktprofil nach Albers, Heimicke, Walter et al. (2018)











Methodikclaim Wir brauchen eine Methodik, die dabei unterstützt, die individuellen Verbesserungspotentiale im Entwicklungskontext zu identifizieren und durch gezielte Kombination von agilen und strukturierenden Elementen eine individuelle Prozesslösung zu generieren, sodass Akzeptanz und wahrgenommener Mehrwert der Prozessverbesserung erhöht werden.		S  P  A  L  T  E  N 
Initiale Methodikbeschreibung <ul style="list-style-type: none"> Hauptfunktionen: durch Identifikation der tatsächlich vorliegenden Bedarfssituation eine geeignete Kombination aus agilen und strukturierenden Elementen ermitteln und Anwendungsfall-gerecht in den Entwicklungsprozess einführen Strukturiert nach dem Problemlösungsprozess SPALTEN Aufbauend auf dem ASD – Agile Systems Design, weiteren Elementen der KaSPPro und zusätzlichen ausgewählten Elementen der agilen Produktentwicklung 		
Referenzsystem <ul style="list-style-type: none"> Methoden, Prozesse und Modelle der KaSPPro ASD Grundprinzipien Agile und plangetriebene Ansätze iPeM und VDI2221 SPALTEN Agile Stage-Gate-Hybrid Lean Startup Scrum, SAFe 	Use Cases <ul style="list-style-type: none"> Agile Transition von einer Auswahl oder Kombination von Individuum, Projekt, Management/Abteilung, Unternehmen Einführung agiler Elemente in die Prozesse produzierender Unternehmen Weiterentwicklung von Produktentstehungsprozessen 	
Bedarf <ul style="list-style-type: none"> Unternehmen fehlt die Möglichkeit, den bestehenden Prozess derart zu flexibilisieren und zugleich bestehendes Wissen zu nutzen, um Entwicklungsrisiko und die Kundenintegration adäquat berücksichtigen und integrieren zu können. 		
Anbietendennutzen <ul style="list-style-type: none"> Angebot einer anwendungsfall-spezifischen Agilität Universelle Methodik, um neu-entwickelte Methoden und Prozesse aus der Forschung in die Praxis zu übertragen 	Kund:innennutzen <ul style="list-style-type: none"> Individuelle und nachhaltige Prozessverbesserung, die die spezifischen Bedarfe adressiert Flexibilisierung von Prozessen durch individuelle Methode und zugleich Berücksichtigung von Entwicklungsrisiken Steigerung von Kundenintegration 	Anwendendennutzen <ul style="list-style-type: none"> Schaffung und Weiterentwicklung einer menschenzentrierten Entwicklungsumgebung Individueller Zugang zu relevantem Methodenwissen Reduzierung von Stress und Überarbeit durch konstanten Flow
Validierung der Methodik durch <ul style="list-style-type: none"> Kontinuierliche Anwendung des Frameworks in der Praxis auch in verschiedenen Reifegradstufen Verifikation innerhalb der Methode bestehenden Zusammenhänge zwischen methodischen Elementen, Faktoren, Handlungsfelder und ASD Grundprinzipien durch wissenschaftliche Gespräche 		
Rahmenbedingungen / Einschränkungen <ul style="list-style-type: none"> Strukturen durch Aufbau- und Ablauforganisation des Unternehmens Arbeitsrechtliche, interne Richtlinien Richtlinien aus dem spezifischen Anwendungsbereich Zur Verfügung stehende Ressourcen 		

Abbildung 4.14: Profil der Methodik nach Heimicke, Duehr et al. (2021)

Der Problemlösungsprozess zur Einführung von Agilität in die Entwicklungsprozesse von Unternehmen der Mechatronik Branche soll, wie in der Klärung des Forschungsbedarfs als notwendig definiert wurde (vgl. 3.1.1), methodisch unterstützt werden. Hierzu konnte zunächst eine Agilitätsdefinition aus der Literatur erarbeitet werden (vgl. Abschnitt 4.1)⁶⁵, die in wesentlichen Teilen die Anforderungen der Praxis integriert (vgl. Abschnitte 4.2.1 und 4.2.2). Es konnte gezeigt werden, dass die meisten der befragten Unternehmen bereits in vereinzelt Anwendungsfällen Agilität einführen (vgl. Abschnitt 4.2.1), die Motivation hinter dieser Einführung jedoch sehr divergent ist (vgl. Abschnitte 4.2.1 und 4.2.3) und daher die individuelle Zielsetzung, die durch eine agile Transformation erreicht werden soll, zum Beginn des Problemlösungsprozesses expliziert und verstanden werden sollte (vgl. Abschnitt 3.1.1). Der Nutzen agiler Ansätze ist Anwendenden in der Praxis zwar bewusst, jedoch sind der tatsächlich wahrgenommene Mehrwert, den diese Ansätze in den Entwicklungsprozessen hervorrufen geringer als der erwartete Mehrwert. Hierbei kann bereits eine breite Akzeptanz gegenüber agilem Arbeiten erwartet werden (vgl. Abschnitt 4.2.3). Allerdings sehen Fachkundige aus Forschung und Praxis eine Vielzahl an Herausforderungen, die der nachhaltigen Umsetzung agiler Ansätze in den Prozessen der Entwicklung mechatronischer Systeme entgegenstehen (vgl. Abschnitte 4.2.1 und 4.2.2). Zuletzt konnten jedoch mögliche Stellgrößen zur anwendungsfallspezifischen Verbesserung agiler Fähigkeiten von Organisationseinheiten identifiziert werden (vgl. Abschnitt 0). Aus den in diesem Kapitel identifizierten Zusammenhängen ergeben sich folgende übergeordnete Anforderungen an die Methodik zur Unterstützung individueller Transformationsvorhaben. Die Methodik muss:

1. ... dabei unterstützen, Agilität individuell einzuführen.
2. ... Agilität in unterschiedlichen Organisationsebenen einführen können.
3. ... Agilität in unterschiedlich reife Anwendungsbereiche einführen können.
4. ... sowohl agile als auch klassische Elemente in die Prozesse einbringen.
5. ... eine iterative Einführung von Agilität ermöglichen.

... den Erfolg der Einführung agiler Elemente messbar machen.

⁶⁵ *Agilität ist die Fähigkeit eines Handlungssystems, die Gültigkeit eines Projektplans hinsichtlich der Planungsstabilität der Elemente im ZHO-Triple kontinuierlich zu überprüfen, zu hinterfragen und bei Vorliegen einer ungeplanten Informationskonstellation eine situations- und bedarfsgerechte Anpassung der Sequenz aus Synthese- und Analyseaktivitäten umzusetzen, wodurch der Kundinnen-, Kunden-, Anwendenden- und Anbietendennutzen zielgerichtet erhöht werden.*

5 Methodik zur gezielten Einführung agiler Elemente in Entwicklungsprozesse

In diesem Kapitel wird eine *Methodik zur situations- und bedarfsgerechten Entwicklung und Einführung einer individuellen agil-strukturierten Prozesslösung* vorgestellt. Diese realisiert das in Abschnitt 4.4 vorgestellte Methodikprofil und befriedigt die im selben Abschnitt abgeleiteten Anforderungen an die Einführung agiler Elemente in die Prozesse der Mechatroniksystementwicklung. Im Zuge der Vorstellung der Methodik werden die Forschungsfragen in Abbildung 5.1 beantwortet.


FF II: Wie ist eine Methodik zu gestalten, die die situations- und bedarfsgerechte Auswahl, Adaption, Entwicklung und Einführung agil-strukturierter Prozesslösungen unterstützt?	
FF II.: Wie ist das Rahmenwerk der Methodik zu gestalten, sodass die situations- und bedarfsgerechte Auswahl, Adaption, Entwicklung und Einführung agil-strukturierter Prozesslösungen beschrieben werden?	
FF II.: Wie lässt sich ein Anwendungsfall-spezifisches Zielsystem für die Auswahl, Adaption, Entwicklung und Einführung agil-strukturierter Prozesslösungen generieren?	
FF II.: Wie lässt sich die Auswahl, Adaption und Entwicklung agil-strukturierter Prozesslösungen für individuelle Anwendungsfälle methodisch unterstützen?	
FF II.: Wie lässt sich die Anwendungsfall-spezifische Einführung agil-strukturierter Prozesslösungen in die jeweilige Prozessumgebung beschreiben und methodisch unterstützen?	
FF II.: Wie lässt sich in der der Einführung agil-strukturierter Prozesslösungen der Anwendungsfall-spezifische Einführungserfolg beurteilen?	

Abbildung 5.1: Haupt- und Teilforschungsfragen zur Strukturierung der Entwicklung des Lösungsansatzes zur Beantwortung des Forschungsbedarfes

Zunächst erfolgt in Abschnitt 5.1 die ganzheitliche Beschreibung der *Methodik zur situations- und bedarfsgerechten Entwicklung und Einführung einer individuellen agil-strukturierter Prozesslösung* sowie der einzelnen in der Anwendung dieser Me-

thodik entstehenden Inkremente. In den folgenden Abschnitten werden die einzelnen Schritte der Methodik detailliert beschrieben. Demnach ergibt sich für dieses Kapitel folgende Struktur:

- Gesamtübersicht der Methode und ihrer Inkremente 5.1
- Methodisch gestützte Identifikation der Bedarfe im Anwendungsfall 5.2
- Methodisch gestützter Aufbau individueller Prozesslösungen 5.3
- Methodisch gestützte Einführung der Prozesslösung 5.4
- Methodisch gestützte Anwendungsfall-spezifische Erfolgsmessung 5.5
- Zwischenfazit zur entwickelten Gesamtmethodik 5.6

5.1 Struktur und Zweck der Methodik

Dieser Abschnitt basiert auf Erkenntnissen, die in der durch den Autor federführend getriebenen Publikation (Heimicke, Duehr et al., 2021) veröffentlicht und in der durch den Autor co-betreuten Abschlussarbeit (Krüger, 2020)⁶⁶ behandelt wurden.

Im Forschungsbedarf wurde abgeleitet, dass die Einführung agiler Elemente ein Problemlösungsprozess ist. Zumeist ist in den Anwendungsfällen die Prozessumgebung lediglich implizit definiert, ein idealer zukünftiger Zielzustand unklar und aus der IST-SOLL-Abweichung resultierende mögliche Verbesserungspotentiale nicht kenntlich oder erkennbar. Somit bedarf es einer Methodik, die die Anwendenden in der Lösung des Problems *Verbesserung von Entwicklungsprozessen durch die Einführung agiler Elemente* unterstützt. Um dieser Problemlösung einen Rahmen zu geben, wird im Nachgang die folgende Teilforschungsfrage beantwortet:

FF II.₁: Wie ist das Rahmenwerk der Methodik zu gestalten, sodass die situations- und bedarfsgerechte Auswahl, Adaption, Entwicklung und Einführung agil-strukturierter Prozesslösungen beschrieben werden?

Zunächst erfolgt eine Übersicht über die Gesamtmethodik – in den folgenden Abschnitten werden ausgewählte Schritte der Methodik diskutiert.

Zur Integration agiler und strukturierender Elemente in die Entwicklungsprozesse von Unternehmen der Mechatronikbranche wurde die SPALTEN-Problemlösungsmethode als übergreifendes Rahmenwerk gewählt (siehe Abbildung 5.3). Die ein-

⁶⁶ Unveröffentlichte Abschlussarbeit (co-betreut)

zelen Schritte der Methode wurden mittels des ABMT – Aktivitäts-basierten Modellierungstechnik aufgebaut, um z. B. die Wissensflüsse innerhalb des gesamten Auswahl- und Einführungsprozesses nachzuvollziehen (Albers et al., 2013), sodass jeder SPALTEN-Schritt durch einen Input, ein Cluster durchzuführender Aktivitäten, unterstützende Methoden und einen Output definiert ist (Heimicke, Duehr et al., 2021; Krüger, 2020, 73ff.). Die Gesamtmethodik wurde in mehreren Iterationen entwickelt, sodass drei Zyklen aus Konzeptionierung, Modellierung, Evaluierung und Anpassung durchgeführt wurden (siehe hierzu auch Beschreibung der Evaluation in 6.1). Die Anwendung der Methodik erfolgt im Idealfall durch ein Transformations-team, kann jedoch auch durch Einzelpersonen durchgeführt werden, die Zugang zu allen notwendigen Informationen im Anwendungsfall besitzen. Das zentrale Ergebnis der Methodikdurchführung ist im Folgenden expliziert:

Ergebnis für Anwendende der Methodik:

Nach Durchführung der Methodik ist ein individuelles Konzept zur Verbesserung eines beliebigen (Teil-)Prozesses in der Produktentstehung entstanden und in den Anwendungskontext eingeführt. Diese *Gesamtprozesslösung* besteht aus einem übergeordneten auf den Anwendungsfall angepassten Prozessmodell und Techniken zur Unterstützung der operativen Ebene. Dabei werden diese Elemente bedarfsgerecht kombiniert und Agilität im Verständnis der entstandenen Definition sowie effiziente Prozessgestaltung unter Nutzung bestehenden Prozess- und Produktwissens gefördert.

In Abbildung 5.3 ist die Methodik zur situations- und bedarfsgerechten Einführung agil-strukturierter Prozesslösungen nach HEIMICKE, DUEHR ET AL. (2021) im Gesamtüberblick dargestellt. Zunächst wird in Abbildung 5.2 eine vereinfachte Darstellung visualisiert, in der mögliche Aussagen von Anwendenden nach den jeweils durchlaufenen Prozessschritten aufgeführt sind.

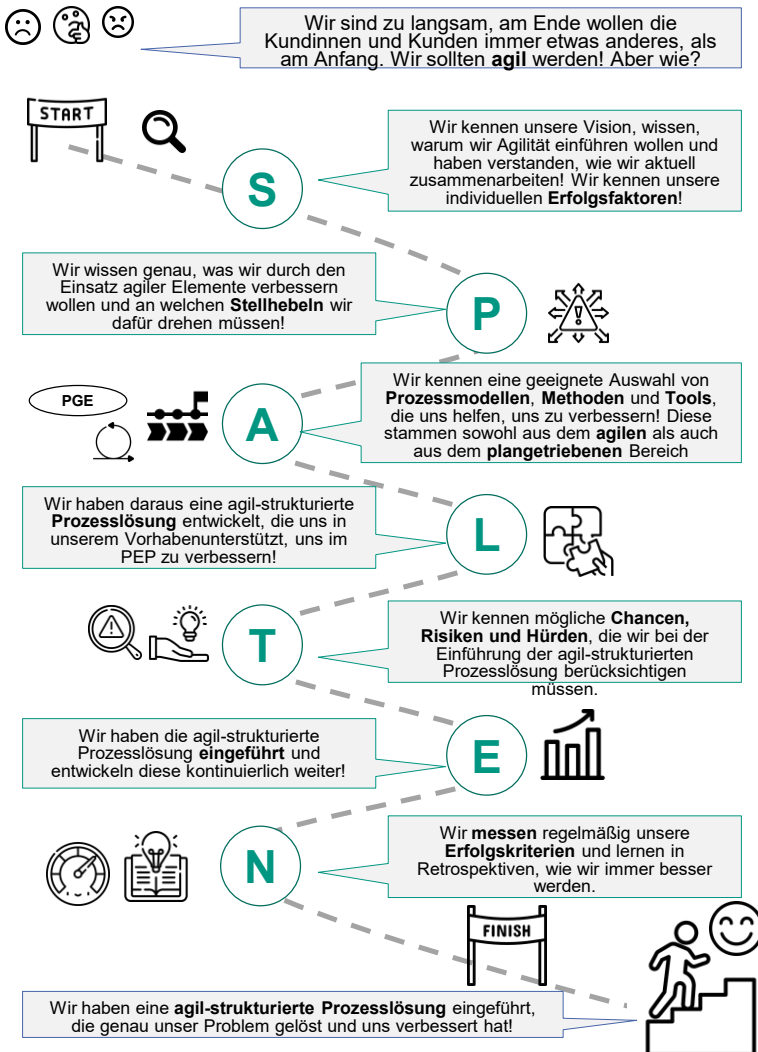


Abbildung 5.2: Vereinfachte Darstellung der entwickelten Methodik anhand des SPALTEN-Prozesses

	Input	Beschreibung der Aktivität	Methode	Output
S Situationsanalyse	Vage identifiziertes Verbesserungspotential Wunsch agiler zu werden	IST-Situation von Aufbau- und Ablauforganisation explizieren Informationsdefizite identifizieren und nach Möglichkeit lösen Gründe für den Bedarf nach einer Anpassung verstehen	IST-Analyse von Aufbau- und Ablauforganisation	Verständnis über Aufbau- und Ablauforganisation Explizite Ziele , die durch den Einsatz von mehr Agilität erreicht werden sollen.
P Problem-eingrenzung	Situations-beschreibende Informationen Vorstellung bzgl. möglicher Verbesserungspotentiale	Verbesserungspotential und Stellgrößen identifizieren und das zu lösende Problem definieren Relevante Einflussfaktoren identifizieren Zielsystem (SOLL-Zustand) herleiten	SOLL-IST-Vergleich, Methodik zur Ausrichtung des Wandels hin zum agilen Arbeiten	Definiertes Zielsystem (SOLL-Zustand) an die Prozesslösung; 1. Handlungsfelder 2. Faktoren 3. Gewichtete ASD-Prinzipien
A Alternative Lösungen	Delta zwischen IST- und SOLL-Zustand Zielsystem Relevante Faktoren	Erfassen, analysieren, dokumentieren Alle Ideen zur Prozessverbesserung konkretisieren Relevante Kriterien Tool-gestützt betrachten	Tool zur Priorisierung aller relevanten Stellgrößen und zum Vorschlag von Methoden und Praktiken	Potentielle Alternative Prozesslösungen aus Methoden, Methodiken und Praktiken zur Unterstützung in den jeweiligen Handlungsfeldern
L Lösungs-auswahl	Vorschläge alternativer Prozesslösungen IST- Organisationsform Reglementierung	Relevante Entscheidungskriterien festlegen Anhand dieser auswählen, welche methodischen Elemente geeignet sind	Individueller Rankingsatz der methodischen Elemente in Abhängigkeit der Eingabe durch Anwendenden	Ausgewählte Prozesslösung Einschätzung hinsichtlich der Eignung der Prozesslösung in der Organisationsform
T Tragweitenanalyse	Ausgewählte Prozesslösung Eignungsabschätzung	Identifizieren von Chancen und Risiken in Abhängigkeit der Organisationsform und Methodenvorschlägen; Einschätzung bezüglich Veränderbarkeit der Prozesslösung entsprechende Maßnahmen ableiten	SWOT Analyse Erstellung eines individuellen Maßnahmenkatalogs zur Minimierung der Risiken und Realisierung der Chancen	Übersicht über die Chancen und Risiken in Verbindung mit ausgewählter Prozesslösung und daraus abgeleitete Maßnahmen
E Entscheiden und Umsetzen	Prozesslösung, Übersicht der Chancen, Risiken und Maßnahmen Beschreibung der methodischen Elemente	Entscheidung über Lösungsumsetzung treffen Ressourcen planen Iterative Einführung der Methode/Methodik planen und umsetzen	SPALTEN, ASD Innovationcoaching, KaLeP,	Beschluss der Umsetzung der agilen Prozesslösung Umsetzungskonzept implementierte Prozesslösung
N Nachbereiten und Lernen	Wissen über: • Methodenerarbeitung • Methoden-anwendung	Bei veränderten Prämissen oder sonstigen Erkenntnissen im Laufe des Prozesses, Prozess ab den jeweiligen Schritt nochmal durchlaufen; Framework für die individuelle Anwendung weiterentwickeln	Lessons learned Sammlung und Umsetzung von Best Practices in der Anwendung der agilen Prozesslösung	Erhebung von Erfolgstendenzen in der Anwendung der Prozesslösung Evaluation des Vorgehens während der Erarbeitung der Prozesslösung

Abbildung 5.3: Methodik zur situations- und bedarfsgerechten Einführung agil-strukturierter Prozesslösungen nach HEIMICKE, DUEHR ET AL. (2021)

Im weiteren Verlauf des Abschnitts erfolgt die detaillierte Darstellung der einzelnen Prozessschritte. Zentrale Bestandteile der Methode (siehe auch Abbildung 5.4), die zudem in der vorliegenden Forschungsarbeit entwickelt wurden, sind:

- Eine Vorlage für ein Methodenprofil (genutzt in **S**, siehe 5.2)
- Ein Katalog mit möglichen Stellgrößen, an denen die Prozessverbesserung unmittelbar wirken soll (genutzt in **S und P**, siehe 5.2)
- Eine Zugriffssystematik auf den Faktorenkatalog zur anwendungsfallspezifischen Filterung und Faktorenauswahl (genutzt in **S und P**, siehe 5.2)
- Ein Prozessmodell-, Methoden- und Praktikenkatalog, der mögliche agile sowie strukturierende Elemente beinhaltet, um die Prozessverbesserung zu realisieren (genutzt in **A und L**, siehe 5.3)
- Eine Zugriffslogik, zur Generierung von anwendungsfallspezifischen Vorschlägen für geeignete Prozesselemente basierend auf der individuellen Faktorenauswahl (genutzt in **A und L**, siehe 5.3)
- Ein Fragenkatalog zur Abschätzung möglicher Chancen/Risiken, die in der Umsetzung der Prozesslösung auftreten können (genutzt in **T**, siehe 5.3)
- Eine Sammlung möglicher Einführungsstrategien zur Unterstützung individueller Einführungskonzepte (genutzt in **E**, siehe 5.4)
- Ein Vorschlag zur Erfolgsmessung der Prozessverbesserung durch ein Kennzahlssystem (genutzt in **N**, siehe 5.5)

Im Fokus der Arbeit stand die Entwicklung der methodischen Unterstützung der Schritte S, P, A, L und T. Schritte E und N sind ebenfalls relevant, jedoch nicht Kern der Arbeit⁶⁷ wodurch wissenschaftliche Tiefe und Anteil der Ausführungen folglich geringer als bei den ersten Schritten sind.

Eine schematische Darstellung zentraler Inkremente in der Reihenfolge, wie sie während der Durchführung der Methodik bis hin zur umgesetzten Prozessverbesserung generiert werden, lässt sich Abbildung 5.4 entnehmen – die Inkremente werden im weiteren Verlauf näher beschrieben. Die Vorstellung inkludiert die Darstellung der zum jeweiligen Inkrement führenden Aktivitäten. Dabei existieren in zwei Inkrementen generische Anteile. Diese entstehen durch die Abstraktion der spezifischen Problemsituation und der Lösung der Problemsituation im Generischen basierend auf durch den Autor vorbereitete Zusammenhänge zwischen Elementen, die zur generischen Beschreibung der Problemsituation genutzt werden und Methoden zur Verbesserung der Situation (siehe Abbildung 5.4). Eine detaillierte Herleitung und Vorstellung der jeweils in den Aktivitäten genutzten Methoden erfolgt in den Abschnitten 5.2, 5.3, 5.4 und 5.5. Einen Gesamtüberblick bietet zudem der Beitrag Heimicke, Duehr et al. (2021).

⁶⁷ Bevor eine Prozesslösung in einen Anwendungsfall eingeführt werden kann, muss diese Anwendungsfall-spezifisch generiert werden. Damit ist die Erzeugung eine notwendige Voraussetzung, weshalb diese in der Arbeit priorisiert wurde.

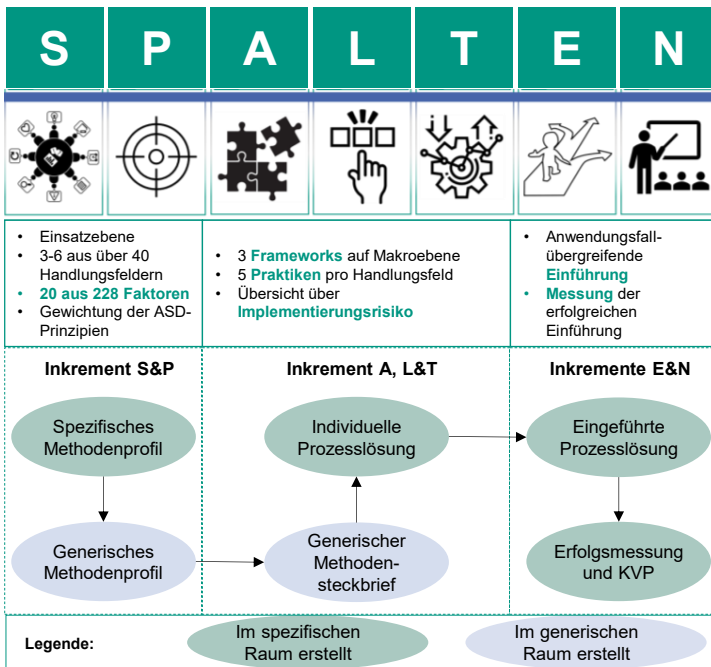


Abbildung 5.4: Reihenfolge der Inkremente aus Methodikanwendung und Zusammenhang zwischen spezifischen und generischen Ergebnissen

Inkrement 1 – das Methodenprofil

Zum Beginn der **Situationsanalyse** innerhalb der agilen Transformation existiert zumeist eine vage Zielsetzung für den jeweiligen Anwendungsfall, die eine Motivation beinhaltet, agile Elemente in die Prozesse zu integrieren. Um diese zu spezifizieren und hiermit im weiteren Verlauf der methodisch gestützten Transformation geeignete Prozessverbesserungen durchführen zu können, muss ein klares Verständnis bezüglich des IST-Zustands der Zusammenarbeit expliziert werden. So wird in der Situationsanalyse der jeweilig relevante Teil der Aufbau- und Ablauforganisation analysiert und expliziert, involvierte Beteiligte und deren Ziele modelliert, mögliche Verbesserungspotentiale identifiziert und die Zielsetzung für die agile Transformation weiter konkretisiert. Die Anwendenden beginnen, diese Erkenntnisse in ein spezifisches Methodenprofil zu übertragen (siehe hierzu um Detail Abschnitt 5.2).

Die **Problemeingrenzung** fußt auf den Erkenntnissen aus der *Situationsanalyse*. Zunächst werden die vagen Prozessverbesserungspotentiale konkretisiert und durch weiterführende Untersuchungen, wie Interviews mit Beteiligten, Workshops oder auch Ursache-Wirkungs-Analysen weiter konkretisiert. Erstes Ergebnis der Problemeingrenzung ist ein komplett ausgefülltes Methodenprofil für die Prozessverbesserung (Beispiel in Abbildung 5.7). Kernelement des Methodenprofils ist der Methodenclaim, der bereits einen Ausblick auf die zukünftig zentralen Elemente beinhalten sollte. Ein beispielhafter Methodenclaim aus einem im Rahmen einer Abschlussarbeit durchgeführten Anwendungsfall⁶⁸ ist:

Methodenclaim

Wir brauchen eine Methode, die das technische Büro dabei unterstützt sich mehr zu **einem Team zu entwickeln** und weniger als Gruppe von Einzelnen zu agieren, die nur ihre eigenen Kompetenzen ausspielen. Dadurch soll der **Informationsfluss** und die **Kommunikation** sowie die **Qualität** im technischen Büro verbessert werden.

Um die hier beschriebenen spezifischen Ziele durch die Prozessverbesserung realisieren zu können, bedarf es der Integration geeigneter methodischer Elemente in den bestehenden Prozess. Um für jeden Anwendungsfall geeignete methodische Elemente zu identifizieren, bedarf es einer Formalisierung des spezifischen Methodenprofils. Hierzu wurde im Zuge der Forschungsarbeit ein generisches Methodenprofil (ein Beispiel findet sich in Anhang G) entwickelt. Dieses wird mittels der Informationen aus dem spezifischen Methodenprofil durch den Methodenanwendenden erarbeitet und enthält:

- Spezifische Situationsinformationen über den Anwendungsfall⁶⁹
- Auswahl der Kontextebene(n)⁷⁰, in der die Prozessverbesserung wirken soll
- Auswahl von bis zu 6 Handlungsfeldern⁷¹, auf denen die Prozessverbesserung wirken soll

⁶⁸ Methodenclaim als zusammenfassendes Element des spezifischen Methodenprofils aus dem Anwendungsfall der Verbesserung der Abläufe im technischen Büro bei dem Unternehmen *Stahlbau Schauenberg GmbH*. In Grün markiert finden sich diejenigen Elemente, die explizit durch die Integration agiler Elemente erzeugt werden sollen. In Anlehnung an Natale (2021, S. 30)

⁶⁹ 1. Herausforderungen, 2. Probleme, die mit dem Einsatz agiler Elemente gelöst werden sollen, 3. Ziele, die mit dem Einsatz agiler Elemente verfolgt werden, 4. Informationen über Ablauf- und Aufbauorganisation sowie Stakeholder

⁷⁰ Nach Hales und Gooch (2004)

⁷¹ Nach Albers, Heimicke, Trost und Spadinger (2020), basiert auf VDI 2221 und Gericke et al. (2013)

- Auswahl von bis zu 20 Faktoren⁷², die als relevante Stellgrößen zur Verbesserung des Prozesses im Anwendungsfall identifiziert wurden
- Daraus errechnete Gewichtung der Grundprinzipien des ASD – Agile Systems Design

Bei der Auswahl der Kontextebenen, Handlungsfelder und Faktoren werden Anwendende durch ein Excel-Tool unterstützt (siehe dazu Abschnitt 5.2), damit er nicht den gesamten Faktorenkatalog analysieren muss, sondern geeignete Filter nutzt. Die Gewichtung der Grundprinzipien des ASD – Agile Systems Design errechnet sich aus den Treffern durch die ausgewählten Faktoren (wird im Detail in Abschnitt 5.2 beschrieben). Die Gewichtung dient zum einen der Logik in der Auswahl geeigneter Elemente für den Anwendungsfall und zum anderen als Impuls für die Anwendenden, welchen übergeordneten Bereich die Prozessverbesserung adressieren sollte. Spezifisches und generisches Methodenprofil bilden als Inkrement aus den ersten beiden Methodenschritten den Input für die Schritte *Alternative Lösungen*, *Lösungsauswahl* und *Tragweitenanalyse*. Es sei angemerkt, dass das Methodenprofil im Prozess des weiteren Aufbaus und der Einführung der agil-strukturierten Prozesslösung kontinuierlich weiterentwickelt und adaptiert werden kann.

Inkrement 2 – die agil-strukturierte Prozesslösung

Das zweite Inkrement innerhalb Anwendung der Methodik ist das spezifische Konzept zur spezifischen Prozessverbesserung durch eine individuelle agil-strukturierende Prozesslösung. Dazu wird im Schritt ***Alternative Lösungen*** der formalisierte Output aus der *Problemeingrenzung* dazu genutzt, aus der Sammlung von Prozessmodellen, Frameworks, Methoden und Praktiken eine geeignete Auswahl zu treffen, die auf Basis der zuvor priorisierten Stellgrößen mit einer hohen Wahrscheinlichkeit dazu geeignet ist, eine für den Anwendungsfall geeignete Prozessverbesserung zu erwirken. Anwendenden werden drei Prozessmodelle oder Frameworks zur Unterstützung auf strategischer Ebene sowie bis zu 20 Methoden und Praktiken zur Unterstützung der operativen Ebene vorgeschlagen. Zu diesem Zweck wurde eine Sammlung an Prozessmodellen, Frameworks, Methoden und Praktiken aufgebaut (Heimicke, Ng et al., 2021), die in einer Analyse hinsichtlich ihrer Unterstützungswirkung bezüglich der identifizierten Stellgrößen sowie Handlungsfelder (vgl. Abschnitt 0 und siehe Abschnitt 5.2) und schlussendlich zur Umsetzung der Grundprinzipien des ASD – Agile Systems Design (vgl. Abschnitt 2.2.7) durch den Autor

⁷² Nach Albers, Heimicke, Trost und Spadinger (2020)

bewertet wurden⁷³. Der Output aus der *Problemeingrenzung* stellt den Anwendungsfall-spezifischen Zugriff auf diese Sammlung durch eine Errechnung der Eignung der methodischen Elemente zur Verbesserung der ausgewählten Faktoren mit anschließender Priorisierung hinsichtlich errechneter Eignung dar. Die spezifische Auswahl wird in einem generischen Methodensteckbrief zusammengefasst (siehe Abbildung 5.10). Eine konkrete Beschreibung der Herleitung, Anwendung und den Zugriff auf diese Sammlung wird in Abschnitt 5.3 dargelegt.

Die im Schritt *Alternative Lösungen* vorgeschlagenen und im generischen Methodenprofil zusammengefassten Prozesselemente werden im Schritt der **Lösungsauswahl** hinsichtlich ihrer tatsächlichen Eignung zur Unterstützung im jeweiligen Anwendungsfall durch Anwendende bewertet. Zudem erfolgt eine durch die entwickelte Methodik vorbereitete Bewertung der Methoden und Praktiken hinsichtlich ihrer Anwendungseignung im jeweiligen Prozessmodell/Framework, das Teil des Vorschlags ist. Schlussendlich wählen Anwendende eines der übergeordneten Prozessmodelle/Frameworks und eine handhabbare Zahl an Methoden und Praktiken aus, die daraufhin zu einer Anwendungsfall-spezifischen Prozesslösung kombiniert werden. Um die Auswahl zu unterstützen, wird im Schritt der *Alternativen Lösungen* für jedes Prozesselement ein Eignungswert ermittelt, der von der Festlegung des Nutzenden in der Herleitung des Methodenprofils (Inkrement 1) abhängt. Zudem werden dem Nutzer Steckbriefe für die Elemente in der engeren Auswahl angezeigt, wodurch das Verständnis bzgl. der Elemente erweitert und die Auswahl durch den Nutzer unterstützt wird. In Abschnitt 5.3 werden die Herleitung und das Arbeiten mit dem Eignungswert sowie das Arbeiten mit den Steckbriefen detailliert beschrieben. In Abbildung 5.5 ist ein Auszug eines generischen Methodensteckbriefs und die daraus abgeleitete und später eingeführte Prozesslösung eines Anwendungsfalls aus der Automobilindustrie dargestellt (siehe Heimicke, Pfau et al. (2021)).

⁷³ Die Sammlung umfasst 10 Prozessmodelle zur Unterstützung der strategischen und 148 Methoden und Praktiken zur Unterstützung der operativen Prozessebene. Beide Bereiche umfassen sowohl agile als auch plangetriebene Elemente.

Teilergebnisse aus der Lösungsauswahl: generische Prozessmodell- (1) und Methodenvorschläge (2) nach Eignung und spezifische Prozesslösung (3) hier abgeleitet aus iPeM

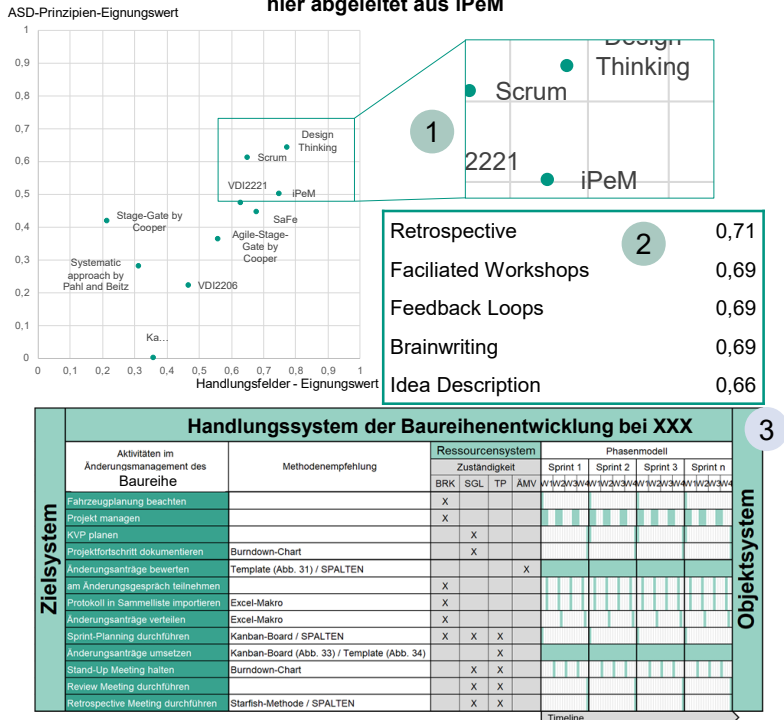


Abbildung 5.5: Auszug aus generischem Methodensteckbrief, vorgeschlagenen Methoden und Prozesslösung aus HEIMICKE, PFAU ET AL. (2021)

Der letzte Teil des zweiten Inkrements ist die Abschätzung möglicher Chancen und Risiken, die mit der Umsetzung der generierten agil-strukturierten Prozesslösung einhergehen können. Diese Abschätzung wird auf Basis des entwickelten Konzepts aus der *Lösungsauswahl* in Anbetracht der Ergebnisse aus der *Situationsanalyse* und *Problemeingrenzung* im Schritt der **Tragweitenanalyse** durchgeführt. Methodisch wird hierzu eine SWOT-Analyse empfohlen. Diese wird durch wenige Leitfragen unterstützt (siehe hierzu (Ng, 2020, 74ff.)).

Inkrement 3 – Einführungsstrategie und eingeführte Prozesslösung

Die zuvor entwickelte und hinsichtlich ihrer Chancen und Risiken abgeschätzte Prozesslösung wird im Schritt **Entscheiden und Umsetzen** in den Anwendungsfall eingeführt. Dabei ist zu beachten, dass diese Einführung erneut einem SPALTEN-Prozess folgt, der iterativ durchlaufen wird. Somit wird die Prozessverbesserung iterativ erwirkt und die in der Prozesslösung konzeptionierten Maßnahmen kleinschrittig hinsichtlich ihres tatsächlichen Nutzens evaluiert. Regelmäßige Retrospektiven der involvierten Mitarbeitenden im angepasst arbeitenden Team können so zur Weiterentwicklung der Prozesslösung im Zuge der Einführung genutzt werden. Im Zuge der Forschungsarbeit wurde ein Leitfaden zum iterativen Einführungsprozess agil-strukturierter Prozesslösungen entwickelt. Mittels diesem werden für die Einführung relevante Aktivitäten und Fragestellungen des Projektmanagements zum Zwecke der Einführung selbst vorab definiert und beantwortet. Zudem wurde in der Forschungsarbeit ein Portfolio aus möglichen Einführungsstrategien erarbeitet und ein Zugriff auf dieses Portfolio gestaltet, mittels dessen eine Strategie, die zur entwickelten Prozesslösung auf der einen und zum Anwendungskontext auf der anderen Seite passt, ausgewählt werden kann⁷⁴. Eine detaillierte Vorstellung der Herleitung des Leitfadens zur Gestaltung des Einführungsprozesses sowie des Inkrements erfolgt in Abschnitt 5.4. Zudem werden in Abschnitt 6.2 die Vorgehensweisen in der Einführung aus drei Fallstudien beschrieben.

Inkrement 4 – Kontinuierliche Erfolgsmessung und Verbesserung

Das letzte Ergebnis, das durch die Anwendung der Methodik generiert und ebenfalls in der Forschungsarbeit entwickelt wurde, ist die kontinuierliche Erfolgsmessung der Prozessverbesserung sowie die kleinschrittige Weiterentwicklung der Verbesserung. Diese findet im Schritt **Nachbereiten und Lernen** statt und erfolgt zyklisch. Zum einen werden Anwendungsfall-spezifische Kriterien, die in den Schritten *Situationsanalyse* und *Problemeingrenzung* als Erfolgskriterien festgelegt wurden, im Zuge der iterativen Einführung erhoben. Auf Basis dieser Messungen werden dann in den jeweiligen Retrospektiven Maßnahmen zur Weiterentwicklung der Prozessverbesserung abgeleitet und umgesetzt. Des Weiteren wurden in einer literaturbasierten Arbeit weitere mögliche Kriterien erarbeitet, mittels derer Anwendende bei Bedarf den Erfolg der Einführung messen können (siehe hierzu (Mellert, 2020)). Im Vordergrund stehen jedoch die anwendungsfallspezifischen Kriterien. Eine detaillierte Vorstellung der Vorgehensweise in der Messung des Erfolgs in der Einführung

⁷⁴ Mögliche Strategien, die genutzt werden können sind: einfache Kick-Off-Workshops, Transformationsworkshops, Pilotprojekte, Einsatz von Transformations-teams und ganzheitliche Veränderungsprojekte

findet sich zum einen in Abschnitt 5.5 und war zum anderen eines der Ziele in der Evaluation der Gesamtmethodik, wodurch auch Abschnitt 6.2 Einblicke zur Erfolgsmessung zu entnehmen sind.

In den nachfolgenden Abschnitten werden die einzelnen Inkremente sowie die zu Grunde liegenden Methoden und deren Herleitung beschrieben.

5.2 Methodisches Ableiten des Zielsystems für eine Prozesslösung im jeweiligen Anwendungsfall

Dieser Abschnitt basiert auf Erkenntnissen, die in durch den Autor mitgestalteten Publikationen (Albers, Heimicke, Trost & Spadinger, 2020; Albers, Heimicke & Trost, 2020; Heimicke, Duehr et al., 2021; Heimicke, Rösel & Albers, 2021) veröffentlicht und in durch den Autor co-betreuten Abschlussarbeiten (Czech, 2021; Krüger, 2020; Natale, 2021; Rösel, 2020; Schill, 2020; Trost, 2020)⁷⁵ behandelt wurden.

Grundlage für eine nachhaltige Prozessanpassung durch die Einführung agiler Elemente ist, dass die Zielsetzung, die mit dieser Anpassung erfolgen soll, relevant, explizit und verifiziert ist. Dies ist die Voraussetzung für die Auswahl und Einführung einer Kombination agiler und strukturierender Elemente. Als Teil der in Abschnitt 5.1 vorgestellten Gesamtmethodik wird im folgenden Abschnitt die Herleitung und Erarbeitung von Inkrement 1 im Zuge der *Situationsanalyse* und *Problemeingrenzung* vorgestellt und hierdurch folgende Teilforschungsfrage beantwortet:

FF II.ii: Wie lässt sich ein Anwendungsfall-spezifisches Zielsystem für die Auswahl, Adaption, Entwicklung und Einführung agil-strukturierter Prozesslösungen generieren?

Analog zu einem Produktentstehungsprozess wird auch der Transformationsprozess durch eine Analyse des jeweiligen Anwendungsfalls mit einer *Situationsanalyse* begonnen. Das Übergeordnete Ziel in diesem Schritt ist es, dass diejenigen, die die Prozessverbesserung durchführen, ein ausreichendes Verständnis über die Interaktionen, involvierte Stakeholder sowie bestehenden Herausforderungen und möglichen Verbesserungspotentialen erhalten, um den Schritt der Problemeingrenzung vorzubereiten. Am Abschluss dieses Schrittes entstehen ein spezifisches sowie ein generisches Methodenprofil, die jeweils die relevanten Informationen für die geplante Prozessverbesserung enthalten. Letzteres generalisiert die im spezifischen Methodenprofil kondensierten Informationen für die weitere Anwendung des

⁷⁵ Unveröffentlichte Abschlussarbeiten (co-betreut)

in der Forschungsarbeit entwickelten Tools. Zur Erstellung des Profils lässt sich eine Vielzahl an Methoden, wie Interviews, (teilnehmende) Beobachtungen, Kommunikationsmodellierung und viele weitere nutzen (ein Beispiel zur Möglichkeit der Sammlung von Herausforderungen lässt sich Abbildung 5.6 entnehmen).

Welche Herausforderungen sind bekannt?



Abbildung 5.6: Auszug von Verbesserungspotentialen/Herausforderungen, die Mitglieder im Anwendungsfall des Technischen Büros beim Unternehmen Stahlbau Schauenberg GmbH im Zuge eines Workshops in der Situationsanalyse identifiziert haben. Zur Sammlung und späteren Priorisierung wurde das Tool Mentimeter® genutzt (Natale, 2021).

Das spezifische Methodenprofil wurde für die Anwendung in der *Situationsanalyse* und *Problemeingrenzung* in Anlehnung an das Produktprofil nach Albers, Heimicke, Walter et al. (2018) entwickelt. In Abbildung 5.7 ist das spezifische Methodenprofil für die Prozessverbesserung im technischen Büro bei dem Unternehmen *Stahlbau Schauenberg GmbH* dargestellt. Der Anwendungsfall wurde in der durch den Autor co-betreuten Abschlussarbeit Natale (2021) untersucht und wird im Abschnitt 6.2 detaillierter dargestellt.

Durch das spezifische Methodenprofil wird sichergestellt, dass eine ausreichende Situationsanalyse erfolgt.

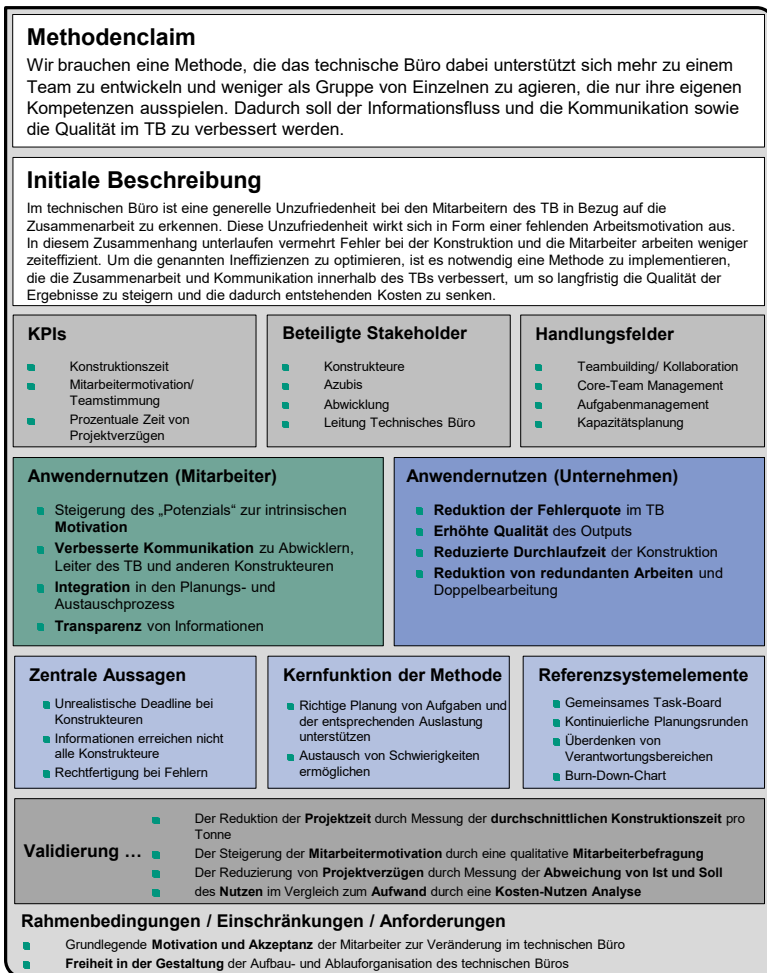


Abbildung 5.7: Methodenprofil zur Prozessverbesserung bei dem Unternehmen *Stahlbau Schauenberg GmbH* in Anlehnung an NATALE (2021)

Die Kategorien werden im Folgenden erklärt (Heimicke, Duehr et al., 2021):

Im **Methodenclaim** wird der zentrale Gesamtnutzen für die relevanten Stakeholdergruppen expliziert und ein erstes Indiz dafür gegeben, welche Prinzipien aus agilen Entwicklungsparadigmen zur Realisierung des Nutzens genutzt werden sollen.

Die **initiale Beschreibung** umfasst eine kurze Darstellung der im Anwendungsfall vorliegenden Situation, die in dem Wunsch, eine Prozessverbesserung durchzuführen, resultiert. Zudem kann im in diesem Bereich eingetragen werden, wie die Situation zukünftig verbessert werden soll, ohne die Lösung bereits final zu definieren.

Im Feld der **KPIs**⁷⁶ werden diejenigen Messgrößen dokumentiert, die nach Empfinden der Beteiligten als Indikatoren für eine erfolgreich durchgeführte Prozessverbesserung dienen können. Diese sollten unmittelbar in Abhängigkeit der übergeordneten Zielsetzung des Verbesserungsprozesses definiert werden, sind daher sehr individuell⁷⁷ und werden im Schritt *Nachbereiten und Lernen* kontinuierlich erhoben.

Unter dem Feld **Beteiligte Stakeholder** sollten alle relevanten Interessensgruppen aufgeführt sein, die durch die Prozessverbesserung bzw. -Veränderung betroffen sein werden. Hierbei wird explizit darauf hingewiesen, dass nicht nur die zukünftigen Anwendenden eingetragen werden (diese werden im Feld *Anwendende* spezifiziert), sondern vielmehr diejenigen Gruppen, die hinsichtlich einer erfolgreichen Umsetzung eine katalysierende oder auch hemmende Position einnehmen könnten. Diese Information ist für den Schritt der *Tragweitenanalyse* von hoher Relevanz.

Das Feld **Handlungsfelder** dient insbesondere der internen Kommunikation. So werden hier übergeordnete und für den Anwendungsfall spezifische Handlungsfelder aufgeführt, die zum einen von den Beteiligten im Anwendungsfall verstanden werden und zum anderen die identifizierten Potentiale und Herausforderungen zusammenfassen. Mitarbeitende auf der strategischen Ebene können so den allgemeinen Verbesserungsbedarf im eigenen Anwendungsfall besser nachvollziehen.

Der Bereich **Nutzen** expliziert den durch die Prozessverbesserung angestrebten Nutzen, sodass dieser unmittelbar nachvollzogen werden kann. Im gezeigten Beispiel in Abbildung 5.7 sind zwei Anwendendengruppen aufgeführt. Mindestens sollte der Nutzen aus der operativen Sicht sowie der Nutzen aus der strategischen Sicht expliziert werden, um etwaige Zielkonflikte frühzeitig zu erkennen und das Zielsystem der Prozessverbesserung möglichst breit zu befüllen. Auch bei kritischen Sta-

⁷⁶ Key Performance Indicators

⁷⁷ Beispiele können sein: *Anzahl unvorhergesehener ToDos pro Zeiteinheit* (z.B. 2 Wochen) oder *qualitativ wahrgenommene Teamstimmung*

keholdergruppen kann dies erfolgen, bei Bedarf jedoch im Zuge der *Tragweitenanalyse* vertieft werden. Ein Anbietender existiert im Vergleich zum klassischen Produktprofil nicht, da die Prozessverbesserung aus dem Handlungssystem heraus getrieben werden soll.

Im Feld **Zentrale Aussagen** werden Kernaussagen von Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern im Anwendungsfall dokumentiert, die zur Konkretisierung und zum Explizieren des spezifischen Methodenprofils geführt haben. Dabei kann bei Bedarf eine Anonymisierung der Aussagen erfolgen. Der Hauptnutzen dieses Feldes ist die Gewährleistung der Nachvollziehbarkeit von Annahmen. In der Regel werden mehrere Interviews im Zuge der *Situationsanalyse* durchgeführt, die zudem separat ausgewertet und interpretiert werden können.

Die **Kernfunktion der Methode** wird soweit möglich bereits in ihren grundlegenden Elementen beschrieben. Hierbei können zumeist im frühen Stadium noch keine Mechanismen für die tatsächliche Realisierung der Prozessverbesserung beschrieben werden. Vielmehr sollte hier klar werden, welche Elemente in welcher Weise durch die erarbeitete Prozesslösung verändert werden.

Im Feld **Referenzsystemelemente** werden bereits bekannte und möglicherweise geeignete Prozesselemente aufgeführt, die im spezifischen Anwendungsfall die Prozessverbesserung realisieren können. Sofern ein explizierter Prozess oder auch etablierte Methoden im Anwendungsfall verstetigt sind, sollten diese zwingend in den Referenzsystemelementen aufgeführt sein. Damit soll gewährleistet werden, dass in der Generierung und späteren Umsetzung der Lösung die Änderungsumfänge im Rahmen gehalten und bereits gut funktionierende Lösungen nicht versehentlich verworfen werden.

Das Feld **Validierung** dient dazu, dass Anwendende bereits frühzeitig im Transformationsprozess erste Ideen bezüglich der Maßnahmen zur Überprüfung des Erfolges durch die Prozessanpassung generieren. Hierbei kann bereits zu Beginn der Transformation definiert werden, wie eine Bedarfsvalidierung und später eine Erfolgsmessung durchgeführt werden können. Für beide Fälle ist die frühzeitige und kontinuierliche Messung der KPIs geeignet, die den Maßnahmen folgt, die im Feld *Validierung* beschrieben werden.

Zuletzt sollten die Anwendenden der Methodik zur situations- und bedarfsgerechten Einführung agil-strukturierter Prozesslösungen die **Rahmenbedingungen/Einschränkungen/Anforderungen**, die im Anwendungsfall vorliegen, identifizieren und explizieren. An diesen ist die in den späteren Schritten zu generierende Prozesslösung auszurichten. Zudem kann auch in der Validierung geprüft werden, ob

die entwickelte Prozesslösung den fixen Anforderungen des Anwendungsfalls (z. B. Teamgröße) gerecht wird.

Sobald das spezifische Profil der Methode zur anwendungsfallspezifischen Prozessverbesserung (= Methodenprofil) initial formuliert ist und somit der Anwendungsfall nach *Situationsanalyse* und *Problemeingrenzung* zu einem zufriedenstellenden Maße verstanden ist, sollte der Schritt der Generierung alternativer Prozesslösungen angestrebt werden. Zur Unterstützung der Anwendenden wurden zu diesem Zwecke in der Forschungsarbeit zwei Elemente auf Basis verschiedener Analysen generiert – zum einen das generische Methodenprofil und zum anderen der generische Methodensteckbrief. Diese beiden Elemente werden verknüpft, so dass die Anwendenden schlussendlich für ihren Anwendungsfall geeignete methodische Elemente als Empfehlung aus dem entwickelten Tool erhalten.

Das generische Methodenprofil ist eine Anwendungsfall-spezifische Auswahl der ...

- ... **Kontextebene(n)** nach Hales und Gooch (2004) auf der die Prozessverbesserung wirken soll.
- ... **zu verbessernden Handlungsfelder** analog zur Anpassung, die in Abschnitt 0 beschrieben wurde (siehe Albers, Heimicke, Trost und Spadinger (2020).
- ... **bis zu 20 Stellgrößen** für die anwendungsfallspezifische Verbesserung agiler Fähigkeiten (Albers, Heimicke, Trost & Spadinger, 2020).
- ... **gewichteten** und in der weiteren Transformation zu realisierenden **Grundprinzipien des ASD – Agile Systems Design** (Albers, Heimicke, Spadinger et al., 2019a; Albers, Heimicke, Trost & Spadinger, 2020)

Das Template des generischen Methodenprofils findet sich in Anhang G – hier am Anwendungsfall nach Natale (2021) vorgestellt. Diese Inhalte des generischen Methodenprofils sind im weiteren Verlauf für den Tool-gestützten Methodenvorschlag relevant, da die Eignung eines methodischen Elements für den Anwendungsfall davon abhängt, ob dieses die entsprechenden Stellgrößen verbessern und damit die jeweiligen ASD-Grundprinzipien realisieren kann.

In der Erarbeitung des generischen Methodenprofils sollen aus den in Abschnitt 0 identifizieren Stellgrößen diejenigen 20 ausgewählt werden, deren Verbesserung für den jeweiligen Anwendungsfall ein größtmögliches Potential zur erfolgreichen Realisierung der agilen Transformation haben. Es entsteht somit eine Menge *B* an Faktoren. Außerdem sollen die Nutzer der Methodik für die Anwendungsfall-spezifische Relevanz der ASD-Grundprinzipien sensibilisiert werden, da nicht jedes Prinzip für die Verbesserung eines jeden Anwendungsfalls die gleiche Relevanz hat. Damit die

Nutzer nicht jede der 228 Stellgrößen hinsichtlich ihrer Relevanz für die jeweilige agile Transformation bewerten müssen, wurde die in 0 beschriebene Clusterung der Faktoren dazu genutzt, eine Filtermöglichkeit für die Anwendenden zu generieren (siehe Abbildung 5.8).

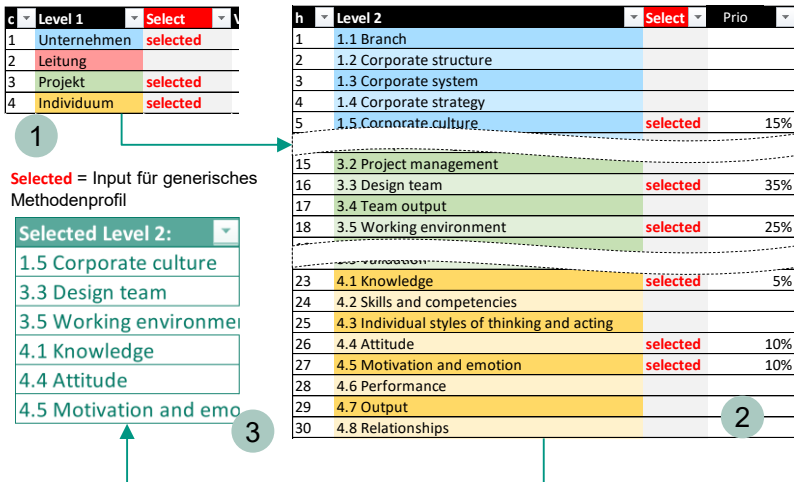


Abbildung 5.8: Auszug aus dem Tool zur Unterstützung in der Generierung des generischen Methodenprofils. 1: Wahl der Kontextebene, 2: Resultat aus der Priorisierung der Handlungsfelder, 3: Auswahl der im weiteren Verlauf zu verbessernden Handlungsfelder. Eigene Darstellung in Anlehnung an Natale (2021)

Basierend auf dem spezifischen Methodenprofil wählen die Anwendenden zunächst diejenigen Kontextebenen, auf denen die Prozessverbesserung künftig wirken soll. Es obliegt ihnen, die Anzahl der Kontextebenen zu bestimmen. Die nach der Auswahl der Kontextebenen verbliebenen Handlungsfelder werden im nächsten Schritt durch die Anwendenden priorisiert. Dabei ist die Frage zu beantworten: *In welchen der Handlungsfelder besteht der größte Bedarf nach einer Prozessverbesserung?* In verschiedenen Studien hat sich gezeigt, dass für den weiteren Prozessverlauf

eine Anzahl an ausgewählten Handlungsfeldern von maximal sieben handhabbar blieb⁷⁸.

Die den verbleibenden Handlungsfeldern in der Clusterung aus 0 zugeordneten Stellgrößen zur Verbesserung agiler Fähigkeiten von Organisationseinheiten werden nun im weiteren Verlauf priorisiert, sodass aus den zumeist zunächst ~ 45 verbleibenden bis zu 20 Stellgrößen ausgewählt werden, die im weiteren Verlauf der Transformation durch geeignete methodische Elemente optimiert werden. Aus der Auswahl der Stellgrößen lässt sich dann für jedes ASD-Grundprinzip l der anwendungsfallspezifische Relevanzwert $g_l \in [0, 1]$ - ein Gewichtungsfaktor für die vorgeschlagene Intensität zur weiteren Berücksichtigung des jeweiligen ASD-Prinzips⁷⁹ - berechnen (Albers, Heimicke, Trost & Spadinger, 2020):

$$g_l = \frac{\sum_{k \in B} x_{k,l}}{\sum_{l=1}^9 \sum_{k \in B} x_{k,l}}$$

(1.1)

Indizes: $l = 1, \dots, 9$ ASD-Prinzip

$k = 1, \dots, |B|$ Stellgröße zur Verbesserung der agilen Fähigkeiten

Mengen: $B \sim$ Menge der für den Anwendungsfall gewählten Faktoren

Variablen: $x_{k,l} \in \{0, 1\} \sim$ Einfluss zwischen Faktor und Prinzip (0 = kein Einfluss, 1 = Einfluss)

Abbildung 5.9 zeigt eine beispielhafte Auswahl der Faktoren und eine daraus resultierende Gewichtung der einzelnen ASD-Grundprinzipien.

⁷⁸ Bei mehr gewählten Handlungsfeldern war die Auswahl zu unspezifisch für eine toolgestützte Methodenempfehlung.

⁷⁹ Dabei stellt der jeweilige Relevanzwert einen Indikator für die Relevanz des entsprechenden ASD-Prinzips für die Anwendungsfall-spezifische Prozessverbesserung im Vergleich zu den übrigen 8 Prinzipien dar.

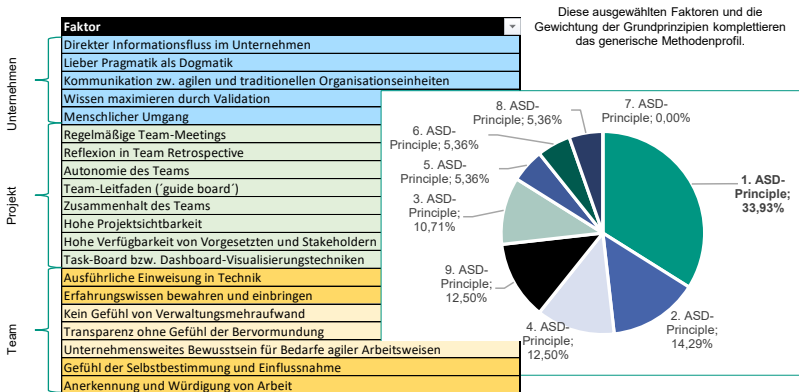


Abbildung 5.9: Im Anwendungsfall bei der *Stahlbau Schauenberg GmbH* ausgewählte Stellgrößen zur Verbesserung agiler Fähigkeiten und daraus resultierende Anwendungsfall-spezifische Gewichtung der ASD-Grundprinzipien. Eigene Darstellung in Anlehnung an Natale (2021)

Die in diesem Abschnitt beschriebenen Elemente des Methodenprofils – spezifisch und generisch – dienen im weiteren Verlauf als Input für die Schritte Alternative Lösungen, Lösungsauswahl und Tragweitenanalyse (siehe Abschnitt 5.3). Obschon in Kapitel 6 eine dezidierte Evaluation der Gesamtmethodik dargestellt wird, sei bereits erwähnt, dass auch zu einem frühen Reifegrad der Gesamtmethodik die Erstellung des Methodenprofils die Anwendenden in der Durchführung der Transformation dabei unterstützen konnte, die Anwendungsfall-spezifische Zielsetzung zu konkretisieren und die Transformation an dieser auszurichten. (Albers, Heimicke, Trost & Spadinger, 2020; Zimmermann et al., 2019)

5.3 Auswählen von methodischen Elementen zur Einführung von Agilität

Dieser Abschnitt basiert auf Erkenntnissen, die in den durch den Autor federführend getriebenen Publikationen (Heimicke, Ng et al., 2021; Heimicke, Rösel & Albers,

2021) veröffentlicht wurden und in den durch den Autor co-betreuten Abschlussarbeiten (Ng, 2020; Rösel, 2020; Schabel, 2021)⁸⁰ behandelt wurden.

Die Grundlage für eine nachhaltige Einführung agiler Elemente in die Prozesse der Mechatroniksystementwicklung ist, dass diese Elemente den im Anwendungsfall tatsächlich gewünschten und notwendigen Zweck einer Prozessverbesserung erfüllen. Hierzu wurde in der Forschungsarbeit eine Sammlung von Elementen zur Unterstützung von Prozessen auf strategischer sowie auf operativer Ebene (siehe Taxonomie in Abbildung 2.9) erstellt und ein Anwendungsfall-spezifischer Zugriff auf diese Sammlung erarbeitet. Zudem wurde ein Vorgehen entwickelt, um die Auswahl der entsprechenden Elemente zu unterstützen und ein Vorschlag zur Abschätzung der Tragweite der Prozessanpassung gemacht. Hierdurch wird im folgenden Abschnitt diese Teilforschungsfrage beantwortet:

FF II._{III}: Wie lässt sich die Auswahl, Adaption und Entwicklung agil-strukturierter Prozesslösungen für individuelle Anwendungsfälle methodisch unterstützen?

Um die methodische Sammlung aufzubauen, wurden folgende Aktivitäten im Rahmen der Forschungsarbeit durchgeführt:

- Aufbau einer klassifizierten Sammlung von methodischen Elementen zur Verbesserung des Produktentstehungsprozesses auf strategischer und operativer Ebene basierend auf der Produktentwicklungsliteratur⁸¹ und Expertenworkshops sowie basierend auf den Elementen der KaSPo (siehe 2.2.7) (Heimicke, Ng et al., 2021; Ng, 2020)
- Entwicklung einer Zugriffssystematik auf diese Sammlung zum Vorschlag und zur Auswahl geeigneter methodischer Elemente (Heimicke, Ng et al., 2021; Ng, 2020; Schabel, 2021) in Iterationen mit verschiedenen Anwendungsfällen (siehe hierzu Kapitel 6)
- Definition eines generischen Methodensteckbriefs, der jegliche Informationen enthält, die man als Input für die Generierung einer spezifischen agil-strukturierten Prozesslösung benötigt (Heimicke, Ng et al., 2021; Ng, 2020)

⁸⁰ Unveröffentlichte Abschlussarbeit (co-betreut)

⁸¹ Hierbei wurde das Methoden- und Prozessverständnis nach Atzberger, Wallisch et al. (2020) genutzt, da dieses bestehende Verständnisse aus der Literatur kondensiert.

- Aufbau einer Methodik zur Abschätzung der Tragweite der Prozessanpassung durch geeignete Leitfragen (Ng, 2020) sowie eine Vernetzungsanalyse der Einflussfaktoren auf die agilen Fähigkeiten von Organisationseinheiten (Heimicke, Rösel & Albers, 2021; Rösel, 2020)

Basierend auf dem Methodenprofil – also der Auswahl der 20 zu verbessernden *Stellgrößen* in den bis zu 6 weiterzuentwickelnden *Handlungsfeldern* und der daraus errechneten *Relevanz* der ASD-Grundprinzipien – wird in den Schritten *Alternative Lösungen*, *Lösungsauswahl* und *Tragweitenanalyse* die Prozesslösung entwickelt, durch die eine Prozessverbesserung angestrebt wird.

Alternative Lösungen

Hierzu wird im Schritt der *Alternativen Lösungen* ein generischer Methodensteckbrief erstellt und den Anwendenden vorgeschlagen, der drei geeignete Elemente zur Verbesserung des Prozesses auf strategischer Ebene und bis zu 30 geeignete Elemente zur Verbesserung des Prozesses auf operativer Ebene enthält (siehe Abbildung 5.10). Aus diesen Elementen erfolgt eine Auswahl durch die Anwendenden. Ziel ist es, ein Prozessmodell/Framework auszuwählen, an welchem man die Adaption des tatsächlich im Anwendungsfall vorliegenden Prozesses auf *strategischer Ebene* ausrichtet.

Außerdem sollen zunächst bis zu fünf Elemente auf *operativer Ebene* ausgewählt werden, die durch eine Anwendungsfall-spezifische Kombination mit dem Prozessmodell zu einer Prozesslösung aufgebaut werden⁸². Die generierte spezifische Prozesslösung wird daraufhin einer Tragweitenanalyse unterzogen, mittels welcher die Anwendenden einschätzen, welche Chancen und Risiken mit der Realisierung dieser Prozesslösung einhergehen und wie Chancen genutzt und Risiken vermieden werden können.

Zum Aufbau der Sammlung methodischer Elemente wurden zunächst ausgewählte Elemente der *KaSPPro* genutzt (siehe Abbildung 2.27 in Abschnitt 2.2.7) und um die Ergebnisse einer breiten Literaturrecherche ergänzt. Das Ziel war es, Elemente auf strategischer sowie auf operativer Ebene zu identifizieren, die im Rahmen einer Prozessverbesserung durch eine Integration agiler Elemente unter Berücksichtigung der Rahmenbedingungen der Entwicklung mechatronischer Systeme geeignet sind.

⁸² Es ist anzumerken, dass keine methodische Unterstützung in der Ableitung der spezifischen Prozesslösung existiert, da dieser Prozess äußerst individuell ist. Der Autor empfiehlt, diese Ableitung anhand eines eigenen SPALTEN-Prozesses zu strukturieren.

Methodensteckbrief – Sennheiser

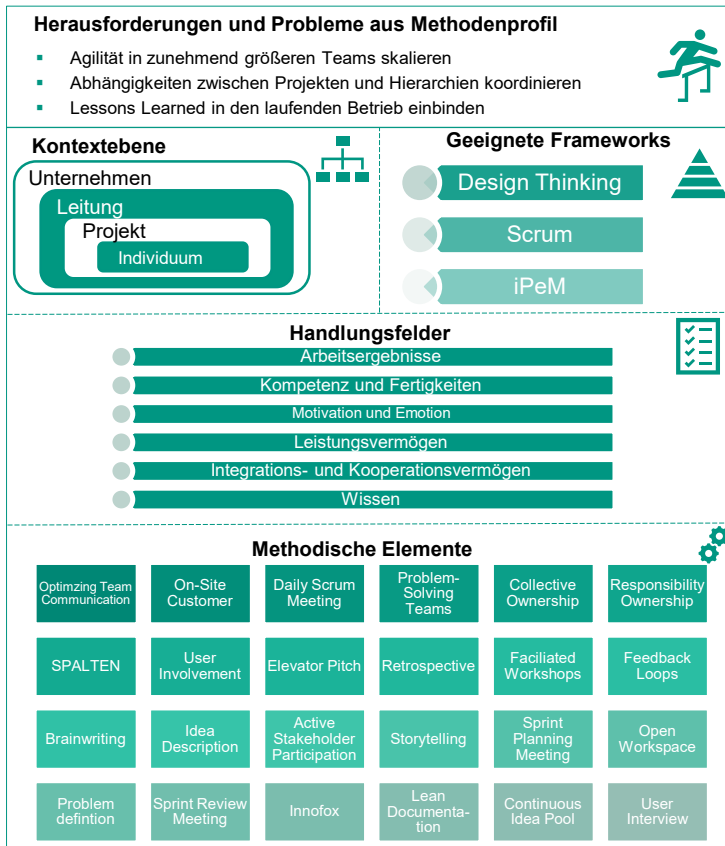


Abbildung 5.10: Generischer Methodensteckbrief zur Prozessverbesserung im Anwendungsfall bei *Sennheiser*. Eigene Darstellung in Anlehnung an Czech (2021, S. 81)

Die Analyse brachte eine Sammlung von 10 Prozessmodellen/Frameworks zur Unterstützung der strategischen Ebene sowie 148 Methodiken, Methoden und Praktiken zur Unterstützung der operativen Ebene hervor (das Vorgehen wird in HEIMICKE, NG ET AL. (2021) erläutert, die Sammlung der Elemente findet sich in Anhang F). Die Klassifizierung der Elemente erfolgte auf Basis von ATZBERGER, WALLISCH ET AL.

(2020). Zum späteren Zugriff auf die Sammlung der methodischen Elemente wurden die Prozessmodelle, Frameworks, Methoden und Praktiken in Gesprächen mit Produktentwicklungsexperten hinsichtlich der Aspekte Realisierung der ASD-Prinzipien, Unterstützung auf den Kontextebenen, Unterstützung in den Handlungsfeldern und Verbesserung der Einflussfaktoren bewertet, wodurch **die folgenden Matrizen** entstanden (Heimicke, Ng et al., 2021; Ng, 2020, 45ff.):

Strategische Ebene

Jedes *Prozessmodell und Framework* i wurde hinsichtlich seiner jeweiligen Eignung zur Realisierung des *ASD-Prinzips* l auf einer Skala von 1-7 bewertet.

$$\begin{bmatrix} x_{11} & \cdots & x_{1l} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{i1} & \cdots & x_{il} \end{bmatrix}$$

$i = 1, \dots, 10$ Prozessmodell/Framework

$l = 1, \dots, 9$ ASD-Prinzip

$x_{il} \in \{1, \dots, 7\}$ Eignungswert des Prozessmodells i zur Realisierung des ASD-Prinzips l

Jedes *Prozessmodell und Framework* i wurde hinsichtlich seiner jeweiligen Eignung zur Verbesserung der *Kontextebene* c auf einer Skala von 1-7 bewertet.

$$\begin{bmatrix} x_{11} & \cdots & x_{1c} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{i1} & \cdots & x_{ic} \end{bmatrix}$$

$i = 1, \dots, 10$ Prozessmodell/Framework

$c = 1, \dots, 4$ Kontextebene nach HALES UND GOOCH 2004

$x_{ic} \in \{1, \dots, 7\}$ Eignungswert des Prozessmodells i zur Unterstützung auf Kontextebene c

Jedes *Prozessmodell und Framework* i wurde hinsichtlich seiner jeweiligen Eignung zur Verbesserung des *Handlungsfeldes* h auf einer Skala von 1-7 bewertet.

$$\begin{bmatrix} x_{11} & \cdots & x_{1h} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{i1} & \cdots & x_{ih} \end{bmatrix}$$

$i = 1, \dots, 10$ Prozessmodell/Framework

$h = 1, \dots, 30$ Handlungsfeld nach VDI 2221:2019

$x_{ih} \in \{1, \dots, 7\}$ Eignungswert des Prozessmodells i zur Verbesserung des Handlungsfeldes h

Operative Ebene

Jede *Methodik*, *Methode* und *Praktik* j wurde hinsichtlich ihrer jeweiligen Eignung zur Verbesserung des *Handlungsfeldes* h auf einer Skala von 1-7 bewertet.

$$\begin{bmatrix} x_{11} & \cdots & x_{1h} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{j1} & \cdots & x_{jh} \end{bmatrix}$$

$j = 1, \dots, 148$ Methodik, Methode und Praktik

$h = 1, \dots, 30$ Handlungsfeld nach VDI 2221:2019

$x_{jh} \in \{1, \dots, 7\}$ Eignungswert der Methodik, Methode, Praktik j zur Unterstützung auf Kontextebene h

Zuletzt wurde bei jeder *Methodik*, *Methode* und *Praktik* j bewertet, ob sie agile Fähigkeiten von Organisationseinheiten mittels Veränderung des Einflussfaktors k verbessert. Die Bewertung wurde mittels Boolean (ja = 1 /nein = 0) vorgenommen.

$$\begin{bmatrix} x_{11} & \cdots & x_{1k} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{j1} & \cdots & x_{jk} \end{bmatrix}$$

$j = 1, \dots, 148$ Methodik, Methode und Praktik

$k = 1, \dots, 228$ Einflussfaktor siehe 0

$x_{jk} \in \{0, 1\}$ Eignungswert der Methodik, Methode, Praktik j zur Verbesserung des Einflussfaktors k

Der Zugriff auf die Methodensammlung mit dem Ziel, einen generischen Methodensteckbrief für die Prozesslösung (vgl. Abbildung 5.10) abzuleiten, erfolgt nun über das generische Methodenprofil aus der *Problemeingrenzung*. Durch die Festlegung der 20 zu verbessernden Faktoren und damit der relevanten Handlungsfelder sowie dem hieraus berechneten Gewichtungsfaktor g_l (siehe Formel 1.1) eines jeden ASD-Prinzips lassen sich nun für jede *Prozessmodell/Framework* i auf strategischer Ebene die Eignungswerte $u_{i,ASD} \in [0,1]$ sowie $u_{i,LV2} \in [0,1]$ berechnen.

Dabei wird die Eignung $u_{i,ASD} \in [0,1]$ eines jeden *Prozessmodells/Frameworks* i zur Realisierung der Anwendungsfall-spezifischen Relevanzkonstellation der ASD-Prinzipien durch die folgende Formel berechnet:

$$u_{i,ASD} = \frac{\sum_{l=1}^9 g_l x_{il} - 1}{6}$$

(2.1)

i	Prozessmodell/Framework
l	ASD-Prinzip
$g_l \in [0,1]$	Gewichtungsfaktor des ASD-Prinzips l (aus Problemeingrenzung)
$x_{il} \in \{1, \dots, 7\}$	Eignungswert des Prozessmodells/Frameworks i zur Realisierung des ASD-Prinzips l

Die Konstanten in der Formel dienen der Normierung auf das Einheitsintervall.

Außerdem wird die Eignung $u_{i,LV2} \in [0,1]$ eines jeden *Prozessmodells/Frameworks* i zur Verbesserung der Anwendungsfall-spezifischen Auswahl der Handlungsfelder h wie folgt berechnet:

$$u_{i,LV2} = \frac{\sum_{h \in L} x_{ih} - |L|}{6|L|}$$

(2.2)

i	Prozessmodell/Framework
h	Handlungsfeld
$x_{ih} \in \{1, \dots, 7\}$	Eignungswert des Prozessmodells/Frameworks i zur Verbesserung des Handlungsfeldes h

L Menge an ausgewählten Handlungsfeldern

Die Werte $|L|$ und $6|L|$ dienen der Normierung auf das Einheitsintervall.

Entsprechend dem generischen Methodenprofil aus dem Schritt *Problemeingrenzung* ergeben sich somit Anwendungsfall-spezifische Eignungswerte für alle Prozesselemente und Frameworks zur Unterstützung der strategischen Ebene im Anwendungsfall.

Lösungsauswahl

Als Grundlage zur Auswahl eines geeigneten Prozessmodells oder Frameworks wird je Anwendungsfall ein individuelles Portfolio erstellt (siehe Abbildung 5.11), in welchem die Elemente, die die beste Gesamteignung hinsichtlich der Unterstützung des Anwendungsfalls aufweisen, in Quadrant III vorzufinden sind.

Um zusätzlich zur Auswahl der Prozessmodelle und Frameworks eine für den jeweiligen Anwendungsfall geeignete Auswahl an Elementen j zur Unterstützung der operativen Ebene für den Schritt der *Lösungsauswahl* bereitzustellen, wurde der Eignungswert $u_{j,LV2}$ definiert, für welchen gilt:

$$u_{j,LV2} = \frac{\sum_{h \in L} x_{jh} - 1}{6}$$

(2.3)

j	Methodik, Methode oder Praktik zur Unterstützung der operative Ebene
h	Handlungsfeld
$g_h \in [0,1]$	Gewichtungsfaktor des Handlungsfeldes h ⁸³
$x_{jh} \in \{1, \dots, 7\}$	Eignungswert von Methodik, Methode oder Praktik j zur Verbesserung des Handlungsfeldes h
L	Menge der Handlungsfelder

⁸³ Der Gewichtungsfaktor g_h lässt sich nach Albers, Heimicke, Trost und Spadinger (2020) durch einen binären Vergleich der für den jeweiligen Anwendungsfall relevanten Handlungsfelder und darauffolgende Normierung der Gesamtwerte berechnen.

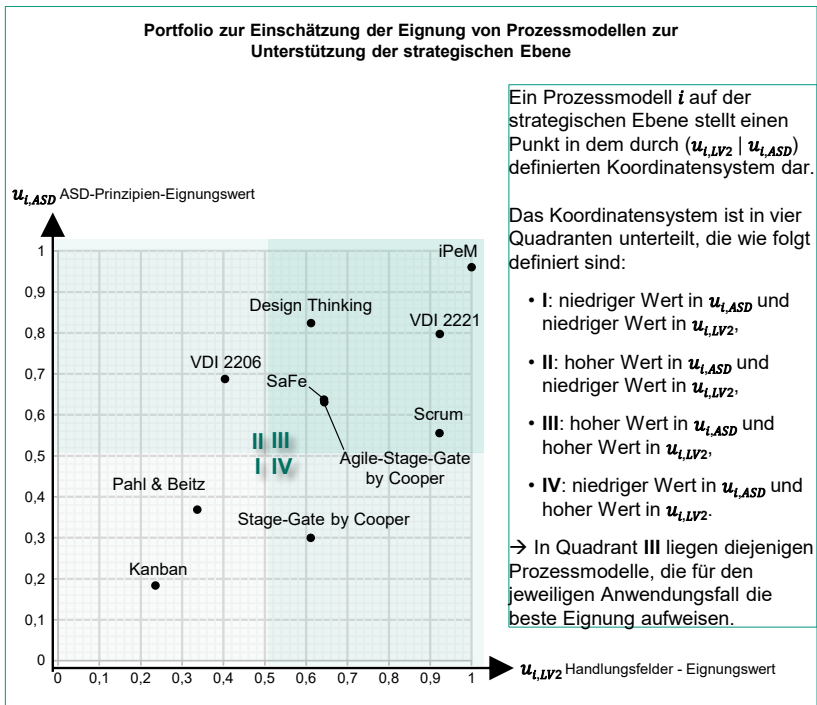


Abbildung 5.11: Portfolio zur Anwendungsfall-spezifischen Einschätzung der Eignung verschiedener Prozessmodelle zur Unterstützung der strategischen Ebene im Anwendungsfallin Anlehnung an Heimicke, Ng et al. (2021; Ng), Abbildung nach Ng (2020, S. 80)

Die Konstanten in der Formel dienen der Normierung (Herleitung der Formeln in Heimicke, Ng et al. (2021) sowie Ng (2020, 56ff.)). Die Anwendung der Formel 2.3 auf die Liste der operativ unterstützenden Methodiken, Methoden und Praktiken liefert einen Anwendungsfall-spezifischen Eignungswert eines jeden methodischen Elements hinsichtlich dem diese Elemente in eine Reihenfolge gebracht werden können (siehe Abbildung 5.12). Je höher ein Element in dieser Liste platziert ist, desto größer ist die Wahrscheinlichkeit, dass dessen Eignung zur Unterstützung der operativen Ebene im jeweils vorliegenden Anwendungsfall gegeben ist.



Abbildung 5.12: Beispielhafte Liste von Methodiken, Methoden und Praktiken zur Unterstützung in einem beispielhaften Anwendungsfall sortiert nach ihrer Eignung. (Ng, 2020, S. 82)

Zur Unterstützung der Auswahl und basierend auf der Annahme, dass die Wahrscheinlichkeit hoch ist, dass Anwendende lediglich eine geringe Kenntnis bezüglich der vorgeschlagenen Elemente besitzen, wurden für alle Elemente Steckbriefe vorbereitet, die die relevanten Informationen eines jeden Elements enthalten (siehe Anhang H). Es wird ausdrücklich empfohlen, Fachkundige aus Wissenschaft und Praxis bei Unklarheiten im spezifischen Methodenverständnis ausfindig zu machen

und einzubinden. Im Schritt der *Lösungsauswahl* wird dazu geraten, maximal 5 Elemente für eine erste Prozessanpassung auszuwählen und eine kleinschrittige Prozessverbesserung anzustreben. In Kapitel 6 werden verschiedene Anwendungsfälle aus der Praxis gezeigt.

Neben der Eignung zur Verbesserung des spezifischen Anwendungsfalls ($u_{j,LV2}$) ist auch die Eignung eines operativen Elements hinsichtlich seiner Wirkung im jeweils ausgewählten Prozessmodell oder Framework ein entscheidendes Kriterium für den späteren Erfolg in der Anwendung des operativen Elements. Aus diesem Grund wurde im Rahmen einer durch den Autor co-betreuten Abschlussarbeit eine Literaturbasierte Analyse der operativen Elemente hinsichtlich ihrer Eignung zur Unterstützung in den Prozessmodellen und Frameworks aus der Methodensammlung getätigt, die zur Unterstützung der strategischen Ebene vorgeschlagen werden (siehe hierzu Schabel (2021)). Die Erkenntnisse wurden in das entwickelte Tool integriert und somit die *Lösungsauswahl* erweitert (siehe Abbildung 5.13).

Hierzu wurde das *Fit-Kriterium* $f \in [0, 1]$ definiert, welches eine Tendenz bezüglich der Eignung operativer Elemente hinsichtlich der Anwendung innerhalb eines Prozesselements auf strategischer Ebene widerspiegelt. Somit wurde jedes operative Element der Methodensammlung (Methodik, Methode, Praktik) gegenüber jedem strategischen Element (Prozessmodell, Framework) hinsichtlich seiner Eignung bewertet. Da die Divergenz der Elemente in der Methodensammlung sehr groß ist⁸⁴, konnte kein einheitliches Kriteriensystem definiert werden, mittels welchem die Bewertung vorgenommen werden konnte. Vielmehr wird in der Anwendung der *Methodik zur situations- und bedarfsgerechten Auswahl und Einführung agiler Elemente* auf den einzelnen *Fit-Wert* zurückgegriffen. Dieser liegt im Intervall $[0, 1]$ und ergibt sich je operativem Element aus einer Bewertung durch den Autor zwischen 0 (keine Eignung) und 1 (hohe Eignung). Um die Tendenz auf Basis der zur Verfügung stehenden Literatur treffen zu können, wurden jedoch in Anlehnung an Reiß (2018, S. 13) Leitlinien formuliert. So wurde, sofern möglich bewertet, ob folgende Charakteristika zwischen operativem und strategischem Element harmonisieren:

- Zweck
- Formalisierungsgrad
- Detaillierungsgrad
- Zeitliche Restriktionen

⁸⁴ Wodurch auf der anderen Seite jedoch eine größere Breite an Anwendungsfällen adressiert werden kann.

Hierdurch ließ sich dann eine verbesserte Einschätzung bezüglich der Eignung eines operativen Elements zur Anwendung im jeweiligen Prozessmodell treffen. Das Vorgehen wird im Detail in Schabel (2021, 82ff.)⁸⁵ beschrieben. Durch den Fit-Wert lässt sich nun die Auswahl geeigneter operativer Elemente zusätzlich zur anwendungsfallspezifischen Eignung ($u_{j,LV2}$) basierend auf der Wahl des strategischen Elements durchführen. Hierzu wurde $u_{j,LV2}$ erweitert:

$$u_{j,neu} = 0,7 * u_{j,LV2} + 0,3 * f_{ij} \quad , u_{j,neu} \in [0, 1]$$

(3.1)

$u_{j,LV2}$	Anwendungsfall-spezifischer Eignungswert des operativen Elements j
f_{ij}	Fit-Wert des operativen Elements j zur Anwendung in strategischem Element i

Somit ist die Anwendungsfall-spezifische Eignung höher gewichtet als die Eignung eines operativen Elements zur Anwendung in einem strategischen Element. Jedoch bleibt es den Methodikanwendenden überlassen, welches Vorgehen sie in der Auswahl bevorzugen. In Abbildung 5.13 ist der Vergleich zwischen beiden Möglichkeiten zur Auswahl der operativen Elemente anhand eines Anwendungsfalls visualisiert. Es lässt sich feststellen, dass die Anwendung der Fit-Bewertung durchaus Auswirkungen auf die Lösungsauswahl haben kann. Jedoch sei darauf hingewiesen, dass die Werte aus einer Vorstudie resultieren und nicht empirisch abgesichert sind und somit lediglich als Entscheidungshilfe bei der *Lösungsauswahl* verstanden werden sollten⁸⁶. (Schabel, 2021, 82ff.)

⁸⁵ Unveröffentlichte Abschlussarbeit (co-betreut)

⁸⁶ Es konnte durch die Analyse eine Tendenz erkannt werden, dass die Eignung operativer Elemente zur Unterstützung in weniger formalisierten strategischen Elementen, wie *Scrum*, *SaFe* oder dem *iPeM* höher ist.

Scrum					
Eignungs- wert $u_{j,h}$	Rang alt	Methoden/Praktiken	Methoden/Praktiken	Rang neu	Neuer We- rt u_{neu}
0,81	1	Optimizing Team Communication	Optimizing Team Communication	1	0,87
0,78	2	On-site customer	Daily Scrum Meeting	2	0,85
0,78	3	Daily Scrum Meeting	User Involvement	3	0,80
0,74	4	PLT (Problemlösungsteams)	Elevator Pitch	4	0,80
0,72	5	Collective Ownership	Retrospective	5	0,80
0,72	6	Responsibility ownership / collective responsibility	On-site customer	6	0,79
0,72	7	SPALTEN	Feedback implementation / Feedback loops	7	0,78
0,72	8	User Involvement	Brainwriting	8	0,78
0,72	9	Elevator Pitch	Idea Description	9	0,76
0,71	10	Retrospective	Active Stakeholder Participation	10	0,76
0,69	11	Facilitated Workshops	SPALTEN	11	0,74
0,69	12	Feedback implementation / Feedback loops	Responsibility ownership / collective responsibility	12	0,74
0,69	13	Brainwriting	Storytelling	13	0,74
0,66	14	Idea Description	Sprint Planning Meeting	14	0,73
0,66	15	Active Stakeholder Participation	Open Workspace	15	0,73
0,63	16	Storytelling	Problem Definition	16	0,71
0,62	17	Sprint Planning Meeting	Sprint Review Meeting	17	0,69
0,61	18	Open Workspace	Innofox	18	0,69
0,58	19	Problem Definition	Lean Documentation	19	0,66
0,55	20	Sprint Review Meeting	Facilitated Workshops	20	0,60
0,55	21	Innofox	PLT (Problemlösungsteams)	21	0,58
0,52	22	Lean Documentation	Collective Ownership	22	0,56

Abbildung 5.13: Einfluss des Fit-Kriteriums auf das Ranking der operativen Elemente in Abhängigkeit der Auswahl des Frameworks *Scrum* auf strategischer Ebene. Abbildung nach SCHABEL (2021, S. 96)

Aus dem generischen Methodensteckbrief (Abbildung 5.10) wird nun eines der drei vorgeschlagenen strategischen Elemente sowie bis zu fünf operative Elemente ausgewählt und eine spezifische Prozesslösung aufgebaut. Diese ist ein je nach Bedarf formalisiertes Modell, das die für den Anwendungsfall relevanten Abläufe enthält.

In Abbildung 5.14 sind verschiedene spezifische Prozesslösungen dargestellt, die im Schritt der Lösungsauswahl erarbeitet wurden. Sie werden in den Fallstudien in Abschnitt 6.2 beschrieben. Jedoch lässt sich hier bereits aus den groben Fragmenten der Modelle feststellen, dass sie in ihrer Darstellung sehr unterschiedlich sind. Während einige der Modelle einen Prozesscharakter analog zum iPeM aufweisen, stellen andere beispielsweise individuell strukturierte Kanban-Boards und -Karten dar. Diese Feststellung resultiert zum einen aus der Individualität eines jeden An-

wurden die Einflussfaktoren auf die agilen Fähigkeiten von Organisationseinheiten einer Vernetzungsanalyse unterzogen (Rösel, 2020, 25ff.)⁸⁷ und somit verschiedene Vernetzungsparameter nach FINK UND SIEBE (2016, 80ff.) eines jeden Faktors ermittelt (Heimicke, Rösel & Albers, 2021):

- Aktivsumme: Anzahl der Faktoren, auf die ein betrachteter Faktor einen Einfluss hat.
- Passivsumme: Anzahl der Faktoren, die auf einen betrachteten Faktor Einfluss haben.
- Vernetzungsgrad: Multiplikation aus Aktiv- und Passivsumme und Indikator für Relevanz des Faktors im Gesamtkontext
- Indirekte Beziehung: Summe der Einflüsse >1. Grades, die ein betrachteter Faktor auf andere Faktoren hat

Um die Prozesslösung im späteren Verlauf hinsichtlich ihres Vernetzungsgrades einordnen zu können, wurden die Parameter aller Einflussfaktoren aufsummiert und Intervalle gebildet (siehe Tabelle 9). Je Parameter wurden auf Grundlage des maximal möglichen Werts drei gleich große Intervalle gebildet.

Tabelle 9: Übersicht der Intervalle einzelner Vernetzungsparameter

Spektrum/ Index	Aktivsumme	Passivsumme	Vernetzungs- grad	Indirekte Be- ziehung
Hoch	187-279	148-220	1050-1574	1282-2740
Mittel	94-186	74-147	526-1049	914-1827
Niedrig	0-93	0-73	0-525	0-913

Um den Vernetzungsgrad einer entwickelten Prozesslösung zu identifizieren und eine Einschätzung bezüglich der Auswirkungen zu erhalten, die diese Lösung im Anwendungskontext potenziell hat, werden die ausgewählten und umgesetzten operativen Elemente genutzt. So werden diejenigen Faktoren unabhängig von den 20 im Methodenprofil priorisierten Faktoren identifiziert, die durch die ausgewählten operativen Elemente beeinflusst werden. Daraufhin wird die Summe der Vernetzungsparameter der beeinflussten Faktoren gebildet und in die Intervalle in Tabelle

⁸⁷ Unveröffentlichte Abschlussarbeit (co-betreut)

9 eingeordnet⁸⁸. In Abbildung 5.15 ist das Template dargestellt, das zur Durchführung der SWOT-Analyse für spezifische Prozesslösungen unterstützen soll.

Analyse der Tragweite der Prozessverbesserung	
Hier steht eine Kurzbeschreibung der spezifischen Prozesslösung.	Hier werden die gewählten Elemente aus dem Methodensteckbrief aufgeführt*
SWOT-Analyse:	
Stärken <ul style="list-style-type: none">• Wie robust gegenüber Veränderungen im Umfeld ist die entwickelte Prozesslösung?• Wie performant wird der Anwendungsbereich und wie lässt sich dies messen?• Worin liegt die Einzigartigkeit der Prozesslösung begründet und ist das Team auf diese committed?	Schwächen <ul style="list-style-type: none">• Worin liegt die größte Gefahr des Scheiterns in der Anwendung der Prozesslösung?• Welche Probleme berücksichtigt die Prozesslösung nicht?• Welche Machtverhältnisse werden verändert und ist dies eine Gefahr für die erfolgreiche Umsetzung der Prozesslösung?
Chancen <ul style="list-style-type: none">• Welche Synergien können im Anwendungsbereich und über dessen Grenzen hinaus durch die Prozesslösung genutzt werden?• Welche der weiteren funktionierenden Abläufe können in die Prozesslösung integriert werden?	Risiken <ul style="list-style-type: none">• Welche bereits etablierten und gut funktionierenden Abläufe laufen Gefahr, durch die Einführung der Prozesslösung beeinträchtigt zu werden?• Welche Auswirkungen hat eine falsche Anwendung der Prozesslösung auf die Wirtschaftlichkeit und die weiteren Abläufe?
Auswirkungen insgesamt - Faktor: <p>Der potenziell weitreichende Einfluss auf agile Faktoren, der mit der Implementierung der ausgewählten Entwicklungsmodule verbunden ist, beläuft sich auf:</p> <p><u>[0, ..., 1574]</u> (... Auswirkungen).</p> <p><small>*Bsp: Strategisch: iPeM Operativ: Produktprofil, Pull-Prinzip der Validierung, Testgetriebene Entwicklung, Einbezug der Kunden, Iterationen</small></p>	

Abbildung 5.15: Formblatt zur Durchführung der Tragweitenanalyse bezüglich möglicher Auswirkungen der Einführung der spezifischen Prozesslösung

Ziel ist es, die enthaltenen Leitfragen zu beantworten und auf dieser Basis Maßnahmen zu definieren, um die Chancen, die mit der Prozesslösung potenziell einherge-

⁸⁸ Es sei darauf hingewiesen, dass hier lediglich eine grobe Tendenz bzgl. der Auswirkungen der Prozesslösung gegeben werden kann, da die Auswirkungen in hohem Maße von der individuellen Konstellation im Entwicklungskontext abhängen.

hen zu nutzen sowie den möglichen Risiken vorzubeugen. Die Prozesslösung besteht aus verschiedenen Elementen, die analog zum Methodenkatalog (siehe Anhang F) aus dem Bereich der agilen sowie den plangetriebenen Methoden entstammen können. Im nachfolgenden Abschnitt wird die Einführung der Prozesslösung beschrieben.

5.4 Einführung des entwickelten Ansatzes

Dieser Abschnitt basiert auf Erkenntnissen, die in den durch den Autor federführend entwickelten Publikationen (Heimicke, Bramato et al., 2021; Heimicke, Roebenack et al., 2021) veröffentlicht wurden und in der durch den Autor co-betreuten Abschlussarbeit (Bramato, 2021)⁸⁹ behandelt wurden.

Die Generierung und die Einführung Anwendungsfall-spezifischer agil-strukturierter Prozesslösungen lassen sich als ein iterativer Prozess der kontinuierlichen Verbesserung verstehen. Dabei wird die gesamte *Methodik zur situations- und bedarfsge-rechten Auswahl und Einführung agiler Elemente* mehrfach iterativ durchlaufen, wobei durch die Anwendenden zu wählen ist, welche Schritte in den Nachfolgeiterationen zwangsläufig durchgeführt werden sollten. In diesem Abschnitt wird jedoch die Vorgehensweise beschrieben, mittels derer die aus den vorherigen Schritten (S-T) entwickelte Prozesslösung in den Anwendungskontext eingeführt wird. Dabei wird folgende Teilforschungsfrage beantwortet:

FF II._{IV}: Wie lässt sich die Anwendungsfall-spezifische Einführung agil-strukturierter Prozesslösungen in die jeweilige Prozessumgebung beschreiben und methodisch unterstützen?

Zur Beantwortung der Frage wurde aufbauend auf den Erkenntnissen, dass Anwendende die als Problemlösungsprozess beschriebene und methodisch gestützte Einführung agiler Elemente bevorzugen (Heimicke, Spahic et al., 2021), ein Vorgehen entwickelt, das dieser Anforderung gerecht wird (siehe auch Abschnitt 3.1.1). Dafür erfolgte die retrospektive Analyse einer Einführung agiler Elemente in die Entwicklungsprozesse eines Anlagenherstellers mittels eines nicht-standardisierten Interviews, eine Literaturrecherche zum Aufbau einer Sammlung unterschiedlicher Einführungsstrategien sowie der Aufbau und die kontinuierliche Anwendung und Verbesserung einer Einführungssystematik. Die Einführung der agil-strukturierten Prozesslösung folgt einem SPALTEN-Problemlösungsprozess innerhalb des

⁸⁹ Unveröffentlichte Abschlussarbeit (co-betreut)

Schritts *Entscheiden und Umsetzen* der übergeordneten *Methodik zur situations- und bedarfsgerechten Auswahl und Einführung agiler Elemente*. Die Einführung ist iterativ und kleinschrittig, sodass in der Regel von einer gleichzeitigen Veränderung mehrerer Handlungsfelder abgesehen wird. Die Art der Einführung ist von den Personen, die den Verbesserungsprozess durchführen, den jeweiligen Kontextspezifika sowie der Ausgestaltung der agil-strukturierten Prozesslösung abhängig. Der Kern der Einführungssystematik ist eine Sammlung möglicher Einführungsstrategien, um die der SPALTEN-Prozess herum aufgebaut wurde.

In der *Situationsanalyse* analysieren die Anwendenden die erarbeitete Prozesslösung hinsichtlich der notwendigen und vorliegenden Kompetenzen der Mitarbeitenden im Anwendungskontext und identifizieren die Rahmenbedingungen, denen die Einführung genügen muss (z. B. laufende Projekte) (siehe Abbildung 5.16). Zudem werden individuelle Messkriterien entwickelt, hinsichtlich derer der Erfolg der Veränderung kontinuierlich gemessen werden kann.

Situationsanalyse

SPALTEN

In diesem Schritt der SPALTEN-Methode sollen weitere Informationen zum aktuellen Umfeld beschafft und diese analysiert werden.

Hierzu sollten Sie die folgenden Fragen beantworten:

- I. **Bestehen bei Ihnen bereits Erfahrungen mit dem empfohlenen Prozessmodell und mit den methodischen Elementen?**
- II. **Wie weit ist Ihr aktueller Prozess von dem vorgeschlagenen Wunschprozess entfernt?**
- III. **Auf welche Unternehmensebenen zielen die Veränderungen ab?**

Weiter ist es wichtig, den Veränderungsprozess **zeitlich** einzuordnen. Machen Sie sich dazu bewusst, wie viel Zeit Ihnen für die Einführung der neuen Modelle noch bereit steht und machen Sie sich mit der Auftragslage Ihres Unternehmens vertraut, da Multiprojektmanagement häufig zu einer Vernachlässigung des Changemanagement-Prozesses führt. Eine Darstellung kann dabei hilfreich sein.

Zeit- und Auftragsplan

Weiter

2/2

Abbildung 5.16: Übersicht über den Auszug aus dem Entwickelten Tool zur Unterstützung des Einführungsprozesses in Anlehnung an Bramato (2021)

In der *Problemeingrenzung* wird das prozessuale und kompetenzseitige Delta expliziert, sodass beschrieben wird, an welchen Stellen in Aufbau und Ablauforganisation durch den Einführungsprozess eine Veränderung hervorgerufen werden soll.

Die Methodik stellt den Anwendenden für den Schritt der *Alternativen Lösungssuche* mögliche Einführungs- und Transformationsarten bereit, aus denen sie in Anbetracht der spezifischen Problemsituation die am besten geeignetste im Schritt der *Lösungsauswahl* auswählen können. Zudem wird aus der generischen Strategie eine für den spezifischen Anwendungsfall geeignete Einführungsstrategie definiert. Konkret sind aus der Literatur- und Anwendungsfallanalyse folgende Einführungsformen identifiziert worden:

- Einzelne Schulungen oder einmalige Veränderungsworkshops
- Kontinuierlich wiederkehrende Transformationsworkshops
- Durchführen von Pilotprojekten
- Etablierung eines Transformationsteams
- Ganzheitliche Veränderungsprojekte

In BRAMATO (2021) finden sich Steckbriefe für die einzelnen Einführungsformen, die zudem im entwickelten Tool genutzt werden und den Anwendenden im Auswahlprozess zur Verfügung gestellt werden. Nach der Auswahl der für den Anwendungsfall geeigneten Einführungsform wird ein Konzept entwickelt, mittels dessen nach der gewählten Strategie die Prozesslösung aus der übergeordneten Methodik eingeführt werden kann. Insbesondere sind hierbei auch die Maßnahmen aus der dort durchgeführten Tragweitenanalyse zu berücksichtigen.

Das daraus entstehende Konzept wird ebenfalls einer *Tragweitenanalyse* unterzogen. Hierbei werden wie üblich Stärken, Schwächen, Chancen und Risiken der Einführungsstrategie erarbeitet und entsprechende Maßnahmen definiert.

Im Schritt *Entscheiden und Umsetzen* erfolgt die Projektierung und tatsächliche Einführung sowie kontinuierliche Durchführung der Prozesslösung. Hierbei sollte eine iterative Prozessverbesserung angedacht werden (siehe Abbildung 5.17).

Zum Ende einer jeweiligen Einführungsiteration (z. B. eignet sich ein Zyklus von 2-4 Wochen) sollte im Zuge einer Retrospektive das Nachbereiten und Lernen erfolgen. Ziel dieses Schrittes ist es zum einen, die im Schritt der Situationsanalyse definierten Mess- und Erfolgskriterien zu überprüfen, sowie die Durchführung der Prozesslösung zu analysieren und im Übergang zur darauffolgenden

Einführungsiteration Verbesserungspotentiale zu explizieren und zu projektieren. So wird das gewonnene Prozesswissen unmittelbar in die kommende Prozessverbesserung eingebracht und der Reifegrad der Prozessverbesserung kontinuierlich erhöht (in Abbildung 5.17 ist dies schematisch dargestellt).

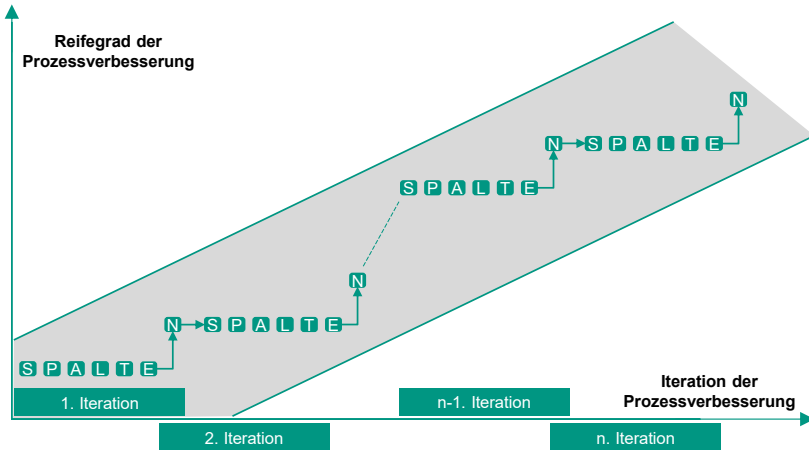


Abbildung 5.17: Schematisch dargestellter Korridor der kontinuierlichen Verbesserung in der Einführung agil-strukturierter Prozesslösungen

Aus der Analyse eines Einführungsprozesses bei einem Anlagenhersteller konnten zudem folgende initialen Erkenntnisse für zukünftige Einführungsprozesse abgeleitet werden ((Heimicke, Roebenack et al., 2021)⁹⁰). Es handelt sich hierbei jedoch um exemplarische Aussagen aus der Analyse eines Anwendungsfalls, die einen Eindruck vermitteln. Hierdurch wird nicht Allgemeingültigkeit unterstellt.

- „Agile Transformationsstrategien müssen individuell an die jeweiligen Abteilungen angepasst werden. Die Ziele und der Nutzen für die Mitarbeitenden müssen nachvollziehbar kommuniziert werden, um Missverständnisse frühzeitig zu vermeiden.“
- „Zu Beginn des Veränderungsprozesses sollte ein einheitliches Verständnis des agilen Arbeitens entwickelt und kommuniziert werden, sonst besteht

⁹⁰ übersetzt aus dem Englischen

die Gefahr, dass man sich nur auf die Einführung von Methoden und Tools konzentriert. Der zentrale Aspekt des Veränderungsprozesses, der Kulturwandel, der Zeit und Erfahrung benötigt, gerät so aus dem Blick.“

- „Nimmt man eine der zentralen Ideen der agilen Arbeitsweise, die Stärkung der Selbstorganisation und Autonomie von Teams, ernst, dann sollten auch die betroffenen Mitarbeitenden bereits in die Konzeption und Planung eines solch tiefgreifenden Veränderungsprozesses einbezogen werden. Als Experten ihrer eigenen Arbeit haben sie ein spezifisches und auch detailliertes Bild von ihrer Abteilung und den Arbeitsprozessen. [...]“
- „Agile Verantwortlichkeiten sollten nicht auf die leichte Schulter genommen werden und erfordern ein Höchstmaß an Professionalität. Andernfalls werden die agilen Mechanismen als Events oder Artefakte kontraproduktiv ausgeführt und als unnötige Last empfunden.“

Nach der Einführung der agil-strukturierten Prozesslösung durch den in diesem Abschnitt vorgestellten SPALTEN-Prozess erfolgt im letzten Schritt der gesamten Prozessverbesserung der kontinuierlich durchzuführende Schritt des *Nachbereitens und Lernens*. Durch diesen soll sichergestellt werden, dass der Erfolg der Prozessverbesserung kontinuierlich geprüft und die Prozesslösung selbst mit dem Ziel einer kontinuierlichen Verbesserung weiterentwickelt wird. Der Schritt wird im nachfolgenden Abschnitt vorgestellt.

5.5 Kontinuierliche Verbesserung der individuellen Prozesslösung

Dieser Abschnitt basiert auf Erkenntnissen, die in den durch den Autor federführend getriebenen Publikationen (Heimicke, Kaiser & Albers, 2021; Heimicke, Mellert & Albers, 2020) veröffentlicht wurden und in den durch den Autor co-betreuten Abschlussarbeiten (Czech, 2021; S. Kaiser, 2020a; Mellert, 2020)⁹¹ behandelt wurden.

Die individuelle Gestaltung eines jeden Einführungsprozesses agiler Elemente wird auch im letzten Schritt der *Methodik zur situations- und bedarfsgerechten Entwicklung und Einführung einer individuellen agil-strukturierten Prozesslösung*, berücksichtigt. So wurde in der vorliegenden Forschungsarbeit eine Empfehlung für die Gestaltung des Schrittes *Nachbereiten und Lernen* erstellt. Durch eine Literaturanalyse und den Erkenntnisgewinn aus verschiedenen Anwendungsfällen wurde ein

⁹¹ Unveröffentlichte Abschlussarbeiten (co-betreut)

Kriterienset und ein methodisches Framework entwickelt und damit die folgende Teilforschungsfrage initial beantwortet:

FF II.v: Wie lässt sich in der der Einführung agil-strukturierter Prozesslösungen der Anwendungsfall-spezifische Einführungserfolg beurteilen?

Eine zentrale Empfehlung ist es, den Schritt des *Nachbereitens und Lernens* wiederkehrend durchzuführen. Hierzu eignen sich in der Regel Zeitspannen von vier Wochen. Zudem ist eine Maßgabe, dass die Erkenntnisse aus dem Schritt handlungsauslösend formuliert werden und somit direkt in den Entwicklungsprozess eingebracht werden können. Einzig ein iteratives *Nachbereiten und Lernen* führt zu einer kontinuierlichen Verbesserung des Prozesses im Anwendungsfall und somit zu einer nachhaltigen Durchdringung agiler Elemente. Im Schritt Nachbereiten und Lernen sollen methodisch gestützt folgende Aspekte retrospektiv analysiert und daraus Maßnahmen für die prospektive Prozessverbesserung abgeleitet werden:

- Verbesserungsgrad der anwendungsfallspezifischen Optimierungsgrößen
- Bedarf nach Anpassung der Prozesslösung
- Problemlösungsprozess der Einführung
- Generelle Kollaboration im Team nach der Prozessverbesserung

Die Messung des individuellen Verbesserungsgrades erfolgt durch die kontinuierliche Erhebung der in den Schritten *Situationsanalyse* und *Problemeingrenzung* identifizierten individuellen Optimierungskriterien. Diese können sich bei Bedarf aus den individuellen Stellgrößen aus dem Anwendungsfall-spezifischen generischen Methodenprofil ergeben. Zudem wurden im Rahmen der Forschungsarbeit 26 mögliche Kriterien gesammelt, die im Zuge des *Nachbereitens und Lernens* bei Bedarf gemessen werden können und den übergeordneten Kategorien *Rentabilität*⁹², *Teamqualität*⁹³, *Produkt/Features*⁹⁴ und *Zeit/Kosten*⁹⁵ zugeordnet sind (siehe Anhang I sowie (Heimicke, Mellert & Albers, 2020)). Die Herleitung der Kriterien, eine Evaluation durch Experteninterviews aus der Industrie sowie eine initiale Anwendung werden in Mellert (2020)⁹⁶ diskutiert. Zudem finden sich in Kapitel 6 verschiedene Auszüge aus Workshops zum *Nachbereiten und Lernen* aus unterschiedlichen Anwendungsfällen.

⁹² Z. B.: *Eingesparte Aufwände durch optimierten Prozess in definiertem Zeitraum*

⁹³ Z. B.: *Stimmung / Fröhlichkeit des Projektteams*

⁹⁴ Z. B.: *Erfüllungsgrad der Zielanwendung(en) oder die Kundenzufriedenheit*

⁹⁵ Z. B.: *Zeitbedarf für die Planung der Gesamtentwicklung*

⁹⁶ Unveröffentlichte Abschlussarbeit (co-betreut)

Neben der Messung des Veränderungserfolgs wird zudem in dem gleichen Workshop das Arbeiten mit der angepassten Prozesslösung retrospektiv analysiert⁹⁷. Das Ziel ist es, insbesondere qualitative Verbesserungspotentiale, zu identifizieren und in unmittelbar umsetzbare Maßnahmen zu überführen. Hierbei ist stets zu berücksichtigen, dass analog zum Vorgehen, das in Abschnitt 5.4 beschrieben wurde, nicht zu viel Weiterentwicklung je Zeiteinheit betrieben wird. Vielmehr soll eine kleinschrittige und sukzessive Verbesserung, die unmittelbar nach ein bis drei Zeiteinheiten (i.d.R. 4 Wochen je Einheit) Wirkung zeigt, angestrebt werden. Die im *Nachbereiten und Lernen* identifizierten und am höchsten priorisierten Maßnahmen werden dann nach dem in Abschnitt 5.4 vorgestellten Vorgehens in den Prozess eingebracht. Bei Bedarf und adäquater Abschätzung der Tragweite kann zudem der SPALTEN-Prozess der gesamten *Methodik zur situations- und bedarfsgerechten Entwicklung und Einführung einer individuellen agil-strukturierten Prozesslösung* als Resultat aus dem Workshop durchgeführt werden. Dies kann insbesondere bei einer Veränderung der Rahmenbedingungen (z. B. Wechsel des Vorgesetzten) relevant werden. Nachfolgend wird eine Methodenkombination vorgestellt, die im Rahmen der Forschungsarbeit zur Durchführung des *Nachbereitens und Lernens* empfohlen wird.

Zur methodischen Unterstützung des *Nachbereitens und Lernens* wird in der vorliegenden Forschungsarbeit eine Kombination aus den bestehenden Methoden *Start-Stop-More-Less-Keep* (Bowley, 2020) zur Sammlung möglicher Verbesserungspotentiale (siehe Abbildung 5.18) sowie des *Impact-Changeable-Portfolios* (Edrawsoft, 2021) zur Priorisierung (siehe Abbildung 5.19) vorgeschlagen⁹⁸. Die abgeleiteten Maßnahmen sollten *SMART* formuliert werden und dienen als Input für die *Situationsanalyse* der Prozessanpassung z. B. in der Planung eines nächsten Sprints.

Zunächst wird der Prozess durch das Team anhand der Methode *Start-Stop-More-Less-Keep* (Bowley, 2020) analysiert (siehe Abbildung 5.18).

Die identifizierten Aspekte werden dann durch das Team in das Portfolio *Impact-Changeable* (Edrawsoft, 2021) eingeordnet und im Idealfall Verbesserungspotentiale aus dem grünen Quadranten in Abbildung 5.19 operationalisiert.

⁹⁷ Als wiederkehrendes Workshopereignis eignet sich z. B. die regelmäßige Durchführung einer Retrospektive.

⁹⁸ Hierbei sei angemerkt, dass diese Auswahl auf der Erfahrung des Autors aus Gesprächen mit Anwendenden agiler Praktiken in Unternehmen begründet. Die in der Arbeit vorgeschlagenen Methoden sind meist bekannt – Alternativen sind sicherlich ebenfalls möglich.



Abbildung 5.18: Auszug aus Retromethode *Start-Stop-More-Less-Keep*. Eigene Darstellung in Anlehnung an Bowley (2020)

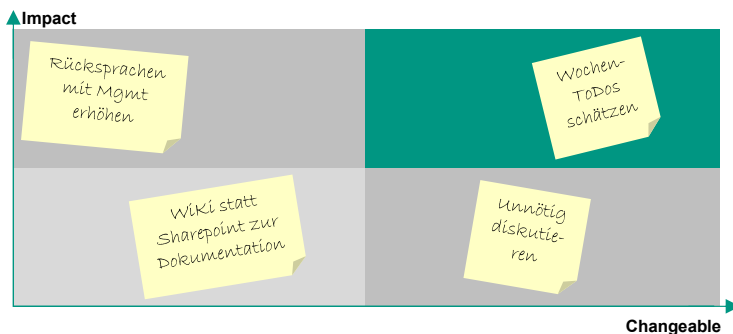


Abbildung 5.19: Auszug aus der Priorisierungs-Retromethode *Impact-Changeable*. Eigene Darstellung in Anlehnung an Edrawsoft (2021)

Es folgt ein Zwischenfazit bezüglich der in der Arbeit entwickelten Methodik.

5.6 Zwischenfazit – methodische Einführung agiler Elemente

Die individuelle Einführung agiler und strukturierender Elemente ist ein Problemlösungsprozess, der je Anwendungsfall die Lösung eines individuellen Problems und damit den Aufbau und die Einführung einer Anwendungsfall-spezifischen Prozesslösung verlangt. Die in der Forschungsarbeit vorgestellte Methodik folgt daher dem SPALTEN-Problemlösungsprozess (Abschnitt 5.1) angewandt auf die situations- und bedarfsgerechte Entwicklung und Einführung einer individuellen Kombination agiler und strukturierender Elemente. Dabei wurden bei der Ausgestaltung der Methodik die Anforderungen berücksichtigt, dass die Methodik (siehe Abschnitt 4.4):

1. ... dabei unterstützt, Agilität individuell einzuführen.
2. ... Agilität in unterschiedlichen Organisationsebenen einführen kann.
3. ... Agilität in unterschiedlich reife Anwendungsbereiche einführen kann.
4. ... sowohl agile als auch klassische Elemente in die Prozesse einbringt.
5. ... eine iterative Einführung von Agilität ermöglicht.
6. ... den Erfolg der Einführung agiler Elemente messbar macht.

Anforderung 1 wurde mit der Ausgestaltung der Methodik als SPALTEN-Problemlösungsprozess mit einem Wechsel aus spezifischen und generischen Ergebnissen realisiert (Abschnitt 5.1). Insbesondere durch das Explizieren einer individuellen Zielsetzung zu Beginn des Prozesses (Abschnitt 5.2, realisiert zudem *Anforderung 3*) und ein darauf basierender spezifischer Vorschlag verschiedener methodischer Elemente (Abschnitt 5.3) gelingt die individuelle Ausgestaltung einer Gesamtprozesslösung. Hierzu wurde im Zuge der Forschungsarbeit ein Template für ein spezifisches Methodenprofil entwickelt, das Anwendende dabei unterstützt, die individuelle Situation im Anwendungsfall und den daraus resultierenden Bedarf für eine Prozessanpassung zu verstehen und zu explizieren⁹⁹ (Abschnitt 5.2). Zudem wurde ein generisches Methodenprofil entwickelt (Abschnitt 5.2), das dazu dient, einen Anwendungsfall-spezifischen Zugriff auf den Methodenbaukasten zu gewährleisten, der sowohl agile als auch plangetriebene Elemente enthält (*Anforderung 4*). Der

⁹⁹ Zudem werden individuelle Optimierungskriterien definiert, anhand derer der Erfolg der Einführung im weiteren Verlauf der Methodendurchführung gemessen wird.

Zugriff erfolgt mittels einer individuellen Auswahl an Faktoren¹⁰⁰, die die agilen Fähigkeiten im Anwendungsfall beeinflussen. Über eine Eignungsanalyse¹⁰¹ der im Methodenkatalog befindlichen methodischen Elemente erfolgt eine Vorauswahl. Durch die Bereitstellung von Elementen zur Unterstützung der strategischen sowie von Elementen zur Unterstützung der operativen Ebene wird die breite und zugleich spezifische Bedarfsbefriedigung gefördert (*Anforderung 2*). Die Vorauswahl an 3 strategischen und bis zu 30 operativen Elementen wird in einem generischen Methodensteckbrief zusammengefasst, auf Basis dessen dann eine Auswahl der geeignetsten Elemente durch die Anwendenden erfolgt und anschließend zu einer ganzheitlichen individuellen Prozesslösung kombiniert wird. Diese wird in einer Tragweitenanalyse¹⁰² hinsichtlich der Auswirkungen ihrer Einführung und Anwendung analysiert. (siehe Abschnitt 5.3, befriedigt *Anforderungen 1-4*)

Die Einführung der Prozesslösung wird im Rahmen der entwickelten Methodik als eigener iterativer SPALTEN-Prozess gestaltet, wobei die Entwicklung und sukzessive Anpassung von Einführungs- und Anwendungskonzepten im Fokus steht. Hierdurch soll eine kleinschrittige und iterative Einführung mit dem Ziel einer kontinuierlichen Verbesserung unterstützt werden. (Abschnitt 5.4, *Anforderung 5*) Nach jeder Anwendungsiteration, die eine Zeitspanne von 4 Wochen nicht überschreiten sollte, erfolgt zum einen die Messung der zu Beginn definierten Optimierungskriterien sowie die Durchführung eines methodisch gestützten und unmittelbar handlungsauslösenden *Nachbereitens und Lernens*. Hierdurch soll zum einen der Fortschritt in der Entwicklung der agilen Fähigkeiten visualisiert werden und das Team sich kontinuierliche weiterentwickeln. (Abschnitt 5.5, *Anforderung 6*)

Die entwickelte *Methodik zur situations- und bedarfsgerechten Entwicklung und Einführung einer individuellen agil-strukturierten Prozesslösung* soll Personen in Organisationen unterstützen, die mit der Einführung agiler Elemente in die bestehenden Prozesse beauftragt werden. Es sei angemerkt, dass jegliche Ergebnisse im Zuge der Methodenanwendung als Empfehlung zu verstehen sind, die einer gründlichen

¹⁰⁰ aus einem Gesamtpool von über 200

¹⁰¹ Die Elemente werden hinsichtlich ihrer Eignung zur Realisierung der Anwendungsfall-spezifischen Relevanzkonstellation der ASD-Grundprinzipien sowie zur Verbesserung der für den jeweiligen Anwendungsfall relevanten Handlungsfelder bewertet.

¹⁰² Im Rahmen der Forschungsarbeit wurde hierzu ein Impact-Factor einer Prozesslösung entwickelt und die Methode SWOT-Analyse um Leitfragen ergänzt.

Tragweitenanalyse unterzogen werden sollten, um die Individualität eines jeden Anwendungsfalls zu berücksichtigen.

Im folgenden Kapitel wird die Evaluation der entwickelten Methodik und verschiedene Anwendungen in der Praxis vorgestellt.

6 Evaluation der entwickelten Methodik

Die Erkenntnisse aus der Evaluation der *Methodik zur situations- und bedarfsgerechten Entwicklung und Einführung einer individuellen agil-strukturierten Prozesslösung* werden in diesem Kapitel vorgestellt und damit die Forschungsfragen in Abbildung 6.1 beantwortet:

	FF III: Welchen Beitrag leistet der Einsatz der Methodik auf die Akzeptanz und den wahrgenommenen Mehrwert agil-strukturierter Prozesslösungen in der Mechatroniksystementwicklung?
FF III.i: Durch welches Vorgehen lassen sich die Anwendbarkeit, der Unterstützungseffekt und der Erfolg der entwickelten Methodik evaluieren?	
FF III.ii: Welchen Beitrag leistet die entwickelte Methodik zur situations- und bedarfsgerechten Auswahl, Adaption, Entwicklung und Einführung agil-strukturierter Prozesslösungen hinsichtlich des wahrgenommenen Mehrwerts von sowie der Akzeptanz gegenüber agil-strukturierten Ansätze?	
FF III.iii: Welche Elemente der entwickelten Methodik zur situations- und bedarfsgerechten Auswahl, Adaption, Entwicklung und Einführung agil-strukturierter Prozesslösungen funktionieren bereits zufriedenstellend und welche Verbesserungspotentiale ergeben sich aus ihrer praktischen Anwendung?	

Abbildung 6.1: Haupt- und Teilforschungsfragen zur Strukturierung der Evaluation des entwickelten Lösungsansatzes

Hierzu wird zunächst das iterative Evaluationskonzept sowie die für dieses Vorhaben abgeleitete Evaluationssystematik vorgestellt (siehe Abschnitt 6.1). In Abschnitt 6.2 werden die drei Evaluationsiterationen und deren Auswertung vorgestellt. Das Kapitel schließt mit Verbesserungspotentialen der Methodik im in der vorliegenden Arbeit vorgestellten Reifegrad in Abschnitt 6.3.

6.1 Vorstellung des Evaluationskonzepts

Dieser Abschnitt basiert auf Erkenntnissen, die in der durch den Autor federführend getriebenen Publikation (Heimicke et al., 2022) veröffentlicht wurden und in der

durch den Autor co-betreuten Abschlussarbeit (Czech, 2021)¹⁰³ behandelt wurden. Die Quellen der einzelnen Fallstudien werden jeweils in der Vorstellung derselben zitiert.


Wie in Abschnitt 3.2.1 beschrieben, wurde die in der Arbeit entwickelte Methodik einer initialen Erfolgsüberprüfung in der Deskriptiven Studie II unterzogen. Hierzu wurde ein iteratives Vorgehen in der Evaluation durchgeführt, sodass die Erkenntnisse aus frühen Evaluationsstudien unmittelbar in die (Weiter-)Entwicklung der Methodik einfließen konnten. Da eine der zentralen Eigenschaften der Methodik die individuelle Unterstützung in verschiedenen Anwendungsfällen ist, wurde im Rahmen der Forschungsarbeit ein Vorgehen zur individuellen Erfolgsmessung der Methodik entwickelt, sodass trotz der Individualität der jeweiligen Anwendungsfälle eine Vergleichbarkeit zwischen den durchgeführten Fallstudien bestand. Dieses wird im folgenden Abschnitt vorgestellt und die folgende Teilforschungsfrage beantwortet:

FF III.: Durch welches Vorgehen lassen sich die Anwendbarkeit, der Unterstützungseffekt und der Erfolg der entwickelten Methodik evaluieren?

Die Evaluation der *Methodik zur situations- und bedarfsgerechten Entwicklung und Einführung einer individuellen agil-strukturierten Prozesslösung* bzw. der Annahmen, die dieser zu Grunde liegen, erfolgte in drei verschiedenen Stadien der Methodik (siehe Tabelle 10). Da es eine zentrale Grundvoraussetzung ist, dass durch die Methodik eine Verbesserung in einem existierenden Anwendungsfall erwirkt werden soll, waren Laborstudien als Evaluation ungeeignet, sodass neun Feldstudien (drei je Reifegrad) durchgeführt wurden.

¹⁰³ Unveröffentlichte Abschlussarbeiten (co-betreut)

Tabelle 10: Übersicht über Iterationen der Evaluation

Ziel der Studien	Verwendete Methoden	Zentrale Erkenntnis	Reifegrad Methodik
Überprüfen der Annahme: Anwendungsfall-spezifisches Gewichten von ASD-Grundprinzipien ist möglich.	Fallstudien Beobachtungen Interviewstudien	Herausforderungen innerhalb eines Anwendungsfalls lassen sich mittels spezifischer Gewichtung den ASD-Prinzipien zuordnen, um diesen zu begegnen. Eine methodische Unterstützung ist jedoch notwendig.	 Grundidee Faktoren und Handlungsfelder Methodik auf Stand, wie in dieser Schrift vorgestellt
Mittels Kontextebenen, Handlungsfeldern und Einflussfaktoren lassen sich Herausforderungen in Anwendungsfällen generisch abbilden und die Entwicklung einer Methodik zur Verbesserung unterstützen.	Fallstudien Beobachtungen Interviewstudien	Es ist möglich, spezifische Bedarfe in die vorgeschlagenen, generischen Faktoren zu überführen. Es hilft, dies als Team durchzuführen. Die Entwicklung einer ganzheitlichen Methode auf dieser Basis sollte methodisch gestützt erfolgen.	
Unterstützungsleistung, Verbesserung des Anwendungsfalls und Anwendbarkeit, sind durch die entwickelte <i>Methodik zur situations- und bedarfsgerechten Entwicklung und Einführung einer individuellen agil-strukturierten Prozesslösung</i> gegeben – die Methodik funktioniert.	Fallstudien Beobachtungen Interviewstudien Fragebogenstudie Eigene Evaluationsmethode	Der ausgestaltete Problemlösungsprozess unterstützt Anwender dabei, eine Anwendungsfall-spezifische Prozesslösung zu erarbeiten, die einen wahrgenommenen Mehrwert erzeugt. Allerdings fällt es schwer, den Problemlösungsprozess ohne Experten durchzuführen.	

Im zugrunde liegenden Vorgehen – der kontinuierlichen Validierung nach dem Verständnis der KaSPro - wurde in einem sehr frühen Stadium die Grundidee evaluiert, dass eine Anwendungsfall-spezifische Gewichtung und Realisierung der ASD-Grundprinzipien dabei unterstützen kann, die Ablauforganisation gezielt zu verbessern. Hierzu wurde in drei verschiedenen Anwendungsfällen jeweils der Kontext durch eine Beobachtungsstudie analysiert, mittels Interviews vertieft und spezifische Herausforderungen sowie Verbesserungspotentiale identifiziert. Diese wurden einer qualitativen Zuordnung zu den ASD-Grundprinzipien unterzogen und auf Basis der Zuordnung eine Prozessverbesserung entwickelt (siehe Abschnitt 6.2.1).

Nach positiver Einschätzung der Beteiligten aus den ersten drei Fallstudien wurde das Gewichten der ASD-Prinzipien als ein elementarer Bestandteil in der Überführung eines Anwendungsfall-spezifischen Bedarfs in eine formalisierbare Methodik beibehalten. Da dieses Vorgehen jedoch hochgradig subjektiv ist und verschiedene Anwendende eine methodische Unterstützung in der Überführung spezifischer Her-

ausforderungen in generische Grundprinzipien vorschlugen, wurde in der Weiterentwicklung der Methodik das in Abschnitt 5.2 vorgestellte Erarbeiten eines spezifischen Methodenprofils und insbesondere das Überführen dieses Profils in generische Faktoren, Handlungsfelder und Kontextebenen entwickelt und anschließend in drei weiteren Anwendungsfällen evaluiert. Die Priorisierung der Grundprinzipien erfolgte damit kleinschrittiger und methodisch gestützt. Somit war es das Ziel der zweiten Evaluationsiteration, ebenfalls in realen Anwendungsfällen das Arbeiten mit den Faktoren, Handlungsfeldern und Kontextebenen im Zuge der *Situationsanalyse* und *Problemeingrenzung* der Methodik zu evaluieren (siehe Abschnitt 6.2.2). Auf Basis der hierdurch priorisierten Grundprinzipien wurden abermals – jedoch ebenfalls qualitativ – Prozesslösungen zur Verbesserung der Anwendungsfälle entwickelt. Als Erkenntnis aus der zweiten Evaluationsiteration konnten Verbesserungen an der Handhabung der Handlungsfelder und Faktoren in die Methodik eingearbeitet werden. Zentral wurde zudem gefordert, methodische Elemente zur Prozessverbesserung als Empfehlung im Rahmen der Methodik zu integrieren.

Basierend auf den Erkenntnissen der zweiten Evaluationsiteration wurde die Methodensammlung (Abschnitt 5.3), der Einführungsprozess (Abschnitt 5.4) sowie ein methodisch gestütztes Nachbereiten und Lernen (Abschnitt 5.5) entwickelt und zur ganzheitlichen *Methodik zur situations- und bedarfsgerechten Entwicklung und Einführung einer individuellen agil-strukturierten Prozesslösung* (Kapitel 0 sowie Beschreibung insbesondere in Abschnitt 5.1) kondensiert. Parallel dazu wurde eine Evaluationssystematik entwickelt, mittels derer die Methodik hinsichtlich der drei Evaluationsarten nach BLESSING UND CHAKRABARTI (2009) – *Unterstützungsevaluation*, *Erfolgsevaluation* und *Anwendbarkeitsevaluation* – final evaluiert wurde. Dies wurde ebenfalls in drei Anwendungsfällen durchgeführt.

In Tabelle 11 ist eine Übersicht über die verschiedenen im Rahmen der Forschungsarbeit durchgeführten Fallstudien visualisiert. Dabei werden Ausgewählte im weiteren Verlauf des Kapitels detaillierter beschrieben. So finden sich die Fallstudien zur Evaluationsiteration 1 in Abschnitt 6.2.1, Fallstudien aus Evaluationsiteration 2 in Abschnitt 6.2.2 und diejenigen aus Evaluationsiteration 3 in Abschnitt 6.2.3. Dort wird jeweils eine der Fallstudien detailliert beschrieben.

Tabelle 11: Übersicht über die durchgeführten Fallstudien. In grau: Evaluationsiteration 1, in grün: Evaluationsiteration 2, in blau: Evaluationsiteration 3

Studientitel	Branche	Beteiligung Autor	Quelle(n)
1: Agile Development of Mechatronic Systems: Utopia or Reality - an Evaluation from Industrial Practice	Sicherheits-technik	stark involviert	(Zimmermann, Heimicke, Alink, Dufner & Albers, 2019)
2: Agile Produktentwicklung für das Validierungssystem unter Anwendung ausgewählter Prinzipien des ASD	Nutzfahrzeuge	stark involviert	(Bobrysch, 2019)
3: Ansatz für die Transformation zur agilen plattformübergreifenden Baukastenentwicklung im Kontext eines Planungstools durch ASD - Agile Systems Design	Maschinenbau	involviert	(Heimicke, Kaiser et al., 2019)
4: Entwicklung strategischer Handlungsempfehlungen für eine agile Reifegradsteuerung von Motorsubsystemen in der Automobilentwicklung während des Serienanlaufs	Automobilindustrie	involviert	(Rapp, Heimicke, Weber & Albers, 2020)
5: Ein Beitrag zur Beschreibung spezifischer Charakteristiken einer ersten Produktgene-ration und Identifikation von Herausforderungen in zugehörigen Entwicklungsprozessen	Medizintechnik	involviert	(Blattner, 2020)
6: Entwicklung einer agil-strukturierten Prozesslösung mittels ASD - Agile Systems Design zum situationsgerechten Umgang mit technischen Änderungen bei einem OEM	Automobilindustrie	involviert	(Heimicke, Pfau, Vetten & Albers, 2021)
7: Entwicklung einer Systematik zur Entscheidungsunterstützung im Umfeld der strategischen Wertschöpfung bei einem OEM	Automobilindustrie	beratend	(Reuter, 2021)
8: Evaluation der Einführung agiler Elemente am Beispiel der Weiterentwicklung agiler Fähigkeiten in einem Baukastenentwicklungsprojekt	Maschinenbau	beratend	(Schmid, 2021)
9: Analyse der Effizienz von agilen Projektmanagementmethoden in der Einzelfertigung	Stahlbau	beratend	(Natale, 2021)

Die abschließende Evaluation (in Iteration 3) der entwickelten *Methodik* erfolgte anhand einer dafür entwickelten Evaluationssystematik ((Heimicke et al., 2022) sowie (Czech, 2021)). Hierzu wurden basierend auf den Erkenntnissen aus der *Deskriptiven Studie I* (siehe Abschnitt 4.2.3) Anforderungen an die im Rahmen der Forschungsarbeit entwickelte Methodik definiert und den entsprechenden Evaluationsarten nach BLESSING UND CHAKRABARTI (2009) zugeordnet (siehe Tabelle 12). Hierfür wurden die in Abschnitt 4.2.3 identifizierten Kriterien basierend auf REIS (2018) und SCHMIDT, WEISS UND PAETZOLD (2018b) verwendet.

Zur abschließenden Evaluationsiteration wurde eine Methodik entwickelt, mittels derer Evaluationsstudien direkt während der Anwendung der *Methodik zur situations- und bedarfsgerechten Entwicklung und Einführung einer individuellen agil-strukturierten Prozesslösung* durchgeführt werden konnten (Heimicke et al., 2022). Diese bedient sich an den Forschungsmethoden Beobachtung und Fragebogenstudie im Zuge von Interviews (siehe Abschnitt 3.2.2). Kernelement je Durchlauf sind vier Interviewsequenzen, die zum einen mit Anwendenden der *Methodik zur situations- und bedarfsgerechten Entwicklung und Einführung einer individuellen agil-strukturierten Prozesslösung* und zum anderen mit Anwendenden der mittels dieser Methodik entwickelten Prozesslösung durchgeführt werden¹⁰⁴. Insgesamt wurden hierzu 120 Fragen ermittelt, die verteilt über den zunehmenden Reifegrad in der Methodikanwendung passend zum jeweils existierenden Inkrement gestellt werden (siehe Anhang J). In Tabelle 12 findet sich ein Auszug verschiedener Fragen des Evaluationskonzepts.

Nach der Forschungshypothese wird der Erfolg der *Methodik zur situations- und bedarfsgerechten Entwicklung und Einführung einer individuellen agil-strukturierten Prozesslösung* daran gemessen, dass durch die entwickelte Prozesslösung zum einen ein wahrgenommener Mehrwert entsteht und diese Prozesslösung zum anderen akzeptiert wird. Die Kriterien anhand derer dies gemessen wird, leiten sich aus den Analysen in Kapitel 0 ab und basieren auf REIß (2018) und SCHMIDT, WEISS UND PAETZOLD (2018b). Außerdem ist anzumerken, dass Anwendungsfall-spezifische Kriterien im Zuge der Evaluation ebenfalls gemessen werden, da dies der Individualität der jeweils entwickelten Prozesslösung Rechnung trägt. Neben den mittels einer Likert-Skala quantifizierbaren Messkriterien sieht die Evaluation zudem vor, dass die Befragten qualitative Verbesserungsvorschläge zur Weiterentwicklung der *Methodik zur situations- und bedarfsgerechten Entwicklung und Einführung einer individuellen agil-strukturierten Prozesslösung* machen können.

¹⁰⁴ Hierbei richtet sich die Auswahl der Fragen nach dem Interviewee

Tabelle 12: Ausgewählte Fragen in der Evaluationsiteration 3. Der Buchstabe in der ID lässt auf die Zuordnung der Frage zur Evaluationsart – **Erfolgsevaluation**, **Unterstützungsevaluation** und **Anwendungsevaluation** – schließen.

ID	Erfolgskriterium	Abgeleitete Aussage (Likert)
E89	Wahrgenommener Grad der Reduktion anwendungsfallspezifischer Herausforderungen	Unsere [Herausforderungen] haben wir mit Hilfe der methodischen Elemente lösen können.
E90	Wahrgenommene Verbesserung des anwendungsfallspezifischen Problemereichs	In unseren [Problembereichen] haben wir uns mit dem Einsatz der neuen Methode verbessert.
E92	Wahrgenommene Verbesserung anwendungsfallspezifischer Erfolgskriterien	[Kriterien], an den wir Erfolg des agilen Ansatzes messen wollten, konnte mit Hilfe der neuen Methode gesteigert/ verbessert werden.
E29	Wahrgenommene Eignung der entwickelten Methode	Die methodischen Elemente passen aus meiner Sicht zu unserem Anwendungsfall.
E46	Aus Sicht eines Beobachters wahrgenommene Erfassbarkeit der Methode für die Anwendenden	Die Anwendung der entwickelten Methode ist für die Probanden intuitiv.
E85	Wahrgenommene Prozessverbesserung	Mit Hilfe der neuen Methode haben wir den Produktentstehungsprozess verbessert.
E86	Wahrgenommene Verbesserung der Ergebnisqualität	Mit Hilfe der neuen Methode haben wir die Ergebnisqualität verbessert.
U120	Wahrgenommene Unterstützung in der Erwirkung einer geeigneten Veränderung	Die Systematik hat dabei unterstützt, unsere eigene Situation und das Ziel der Veränderung zu erfassen, wodurch es möglich war, eine zu uns passende Veränderung zu bewirken.
U118	Wahrgenommene Unterstützung in der Entwicklung einer geeigneten Prozesslösung	Mit Hilfe der Systematik waren wir in der Lage eine neue Methode zu entwickeln mit der wir unsere Herausforderungen lösen konnten.
U18	Unterstützung in der Verbesserung des Situations- und Zielverständnisses im Anwendungsfall	Nach Auswahl der Kontextebene, Handlungsfelder, Faktoren und Gewichtung der Grundprinzipien verstehe ich unsere Ausgangssituation und die Zielsetzung besser als vorher.
A14	Unterstützung in der Faktorenidentifikation	Es fiel mir leicht, aus den vorgeschlagenen Faktoren für meinen Anwendungsfall geeignete Stellgrößen zu identifizieren.
A21	Komplexität der Methodik	Die Methodik ist viel zu komplex.
A22	Erfassbarkeit der Methodik	Ich habe die Schritte und Handhabung der Methodik als intuitiv empfunden.
A36	Unterstützung in der Auswahl eines Frameworks	Es fiel mir leicht ein passendes Framework auszuwählen.
A37	Unterstützung in der Auswahl methodischer Elemente	Es fiel mir leicht, passenden methodische Elemente auszuwählen.

Die Evaluationsmethodik wurde in ihrer Entstehung selbst in verschiedenen Anwendungsfällen evaluiert. Zum einen wurde mittels der in der Forschungsarbeit vorgestellten Methodik eine Prozessverbesserung im studentischen Live-Lab *Hector School*¹⁰⁵ durchgeführt und dieser Prozess mittels der Evaluationsmethodik analysiert. Hierbei wurde insbesondere die Evaluationsmethodik weiterentwickelt, aber auch einzelne Implikationen für die *Methodik zur situations- und bedarfsgerechten Entwicklung und Einführung einer individuellen agil-strukturierten Prozesslösung* abgeleitet. Außerdem wurde eine Evaluation mit drei Personen aus verschiedenen Unternehmen, die die *Methodik zur situations- und bedarfsgerechten Entwicklung und Einführung einer individuellen agil-strukturierten Prozesslösung* initial angewandt haben, durchgeführt und die gewonnenen Erkenntnisse ebenfalls in die Weiterentwicklung der Evaluationsmethodik eingebracht. Die Entwicklung und Absicherung der Evaluationsmethodik findet sich in CZECH (2021)¹⁰⁶.

In Abbildung 6.2 ist das Zusammenspiel der Evaluationsmethodik der letzten Evaluationsiteration mit der *Methodik zur situations- und bedarfsgerechten Entwicklung und Einführung einer individuellen agil-strukturierten Prozesslösung* dargestellt. Hierbei werden die in Anhang J dargestellten Interview-, Beobachtungs- und Anwendendenfragebögen herangezogen. Die Evaluation sollte nach Möglichkeit jeweils nach der Finalisierung des entsprechenden Inkrements erfolgen, da sich die Fragen in den vorbereiteten Evaluationsmaterialien zumeist auf Teile aus den jeweiligen Inkrementen beziehen. Hierbei werden diejenigen Personen befragt, die die Prozesslösung mittels der in der Forschungsarbeit vorgestellten Methodik entwickelt haben und somit unmittelbar an der Erstellung der spezifischen Prozesslösung und der Erstellung der Inkremente beteiligt sind. Neben der Beantwortung von Interviewfragen füllen diese Personen zudem den Beobachtungsfragebogen aus.

Die Anwendenden der entwickelten Prozesslösung¹⁰⁷ füllen den Anwendendenfragebogen aus, wodurch die Prozesslösung aus Anwendendensicht bewertet und hieraus Schlüsse auf die *Methodik zur Entwicklung und Einführung einer individuellen agil-strukturierten Prozesslösung* gezogen werden können. Beispielsweise ist von Interesse, ob im Rahmen der Entwicklung der spezifischen Prozesslösung Befürde aus Anwendendensicht identifiziert und durch die entwickelte Prozesslösung identifiziert wurden. Hieraus kann auf die Ausprägung entsprechender Erfolgskriterien der

¹⁰⁵ Siehe <https://www.hectorschool.kit.edu/index.php> (letzter Zugriff 15.12.2021)

¹⁰⁶ Unveröffentlichte Abschlussarbeit (co-betreut)

¹⁰⁷ Hierbei ist insbesondere anzumerken, dass Entwickelnde und Anwendende der Prozesslösung dieselben Personen(gruppen) sein können.

6.2 Erkenntnisse aus den Fallstudien

In diesem Abschnitt werden die neun Fallstudien und damit verbunden die Erkenntnisse aus den drei Evaluationsiterationen vorgestellt. Hierdurch erfolgt die sukzessive Beantwortung der Teilforschungsfrage:

FF III.ii: Welchen Beitrag leistet die entwickelte Methodik zur situations- und bedarfsgerechten Auswahl, Adaption, Entwicklung und Einführung agil-strukturierter Prozesslösungen hinsichtlich des wahrgenommenen Mehrwerts von sowie der Akzeptanz gegenüber agil-strukturierte Ansätze?

6.2.1 Evaluation des Umgangs mit den ASD-Grundprinzipien

Dieser Abschnitt basiert auf Erkenntnissen, die in den unter Beteiligung des Autors verfassten Publikationen veröffentlicht wurden (Heimicke, Kaiser et al., 2019; Zimmermann et al., 2019) und in den durch den Autor co-betreuten Abschlussarbeiten (Bobrysch, 2019; K. Kaiser, 2019)¹⁰⁸ behandelt wurden.

Ziel in der ersten Evaluationsiteration war es, die Annahme zu bestätigen, dass die Relevanz der Grundprinzipien des ASD – Agile Systems Design durch eine Analyse der im jeweiligen Anwendungsfall vorliegenden Herausforderungen und Prozessoptimierungspotentialen eine Gewichtung der Prinzipien möglich ist und den Lösungsraum für die Prozessverbesserung vorgibt. Hierzu wurden in drei unterschiedlichen Anwendungsfällen verschiedener Unternehmen Beobachtungen und Interviews durchgeführt, Herausforderungen und Verbesserungspotentiale in den Prozessen expliziert und diese daraufhin den Grundprinzipien des ASD – Agile Systems Design zugeordnet¹⁰⁹. Diese Zuordnung stellte den Lösungsraum für die jeweilige Entwicklung von Lösungen zur Prozessverbesserung dar. Diese Verbesserung wurde je Anwendungsfall entwickelt und eingeführt. Im Zuge dieses Prozesses wurde in verschiedenen wissenschaftlichen Gesprächen ohne vorbereitete Struktur die Zuordnung der Herausforderungen zu den Grundprinzipien sowie deren Nutzen diskutiert und Erkenntnisse für die weitere Methodikentwicklung abgeleitet. Im weiteren Verlauf werden die Fallstudien und ausgewählte Ergebnisse vorgestellt.

¹⁰⁸ Unveröffentlichte Abschlussarbeiten (co-betreut)

¹⁰⁹ Hierbei wurde die Zuordnung jeweils gemeinsam mit dem Autor der Forschungsarbeit durchgeführt. Eine Herausforderung wurde einem Prinzip zugeordnet, wenn die Anwendenden nach Beschreibung des Prinzips eine Möglichkeit sahen, dass durch die Realisierung des Prinzips die Herausforderung minimiert werden kann.

Die *erste Fallstudie* wurde bei einem Unternehmen aus der Branche *Sicherheitstechnik* durchgeführt. Hierbei fand die Analyse in einem Entwicklungsprojekt mit dem Ziel statt, ein am Markt befindliches System aus verschiedenen Rauchwarnmeldern um Funktionalitäten aus dem Bereich *Internet of Things* zu erweitern und ein marktreifes Konzept zu erarbeiten. An diesem Projekt waren Entwickler aus drei Unternehmen in den Rollen des agilen Frameworks Scrum beteiligt. Dieses stellte zudem dasjenige Framework dar, das dem Gesamtprojekt zu Grunde lag. Innerhalb der einzelnen Unternehmen wurden jedoch eigene Ansätze zum Projektmanagement genutzt. Hierdurch kam es zu Schwierigkeiten im Mindset der einzelnen Beteiligten (insgesamt ca. 12 Beteiligte, dabei eine Person strategisch als Product Owner) sowie zu Herausforderungen in der Synchronisation der einzelnen Entwicklungsergebnisse. Eine detaillierte Beschreibung der in diesem Anwendungsfall identifizierten Verbesserungspotentiale und Herausforderungen inklusive der Zuordnung dieser zu den ASD-Prinzipien findet sich in Zimmermann et al. (2019).

Fallstudie 2 wurde in der Entwicklung eines Prüfstands für ein Kamerasystem in einem Omnibus bei einem Hersteller von Stadtbussen durchgeführt. Ziel des Projekts war es, einen funktionsfähigen Prüfstand zur Validierung des Teilsystems *Videüberwachung Innen und Außen* im Umfeld von Kundensonderwünschen zu entwickeln. Im vorliegenden Anwendungsfall waren 5 Entwickler für die Entwicklung und den Aufbau des Prüfstands verantwortlich. Zum Zeitpunkt der Evaluation wurde nach Stage-Gate entwickelt, wobei dieses Vorgehen im Anwendungsfall der Umsetzung von Kundensonderwünschen als äußerst träge wahrgenommen wurde. Eine detaillierte Beschreibung der in diesem Anwendungsfall identifizierten Verbesserungspotentiale und Herausforderungen inklusive der Zuordnung dieser zu den ASD-Prinzipien findet sich in Bobrysch (2019, 42ff.)¹¹⁰.

Die *dritte Fallstudie*¹¹¹ wurde beim Unternehmen *TRUMPF Werkzeugmaschinen GmbH + Co. KG* durchgeführt (Heimicke, Kaiser et al., 2019). Als Folge aus einer großen Zahl an Produktvarianten¹¹² wurde im Unternehmen ein übergeordneter Baukasten für alle Produktfamilien eingeführt, um als Plattform zu dienen und somit die Variantenvielfalt auch zukünftig handhaben zu können. Zudem wurden im Un-

¹¹⁰ Unveröffentlichte Abschlussarbeit (co-betreut)

¹¹¹ Diese wird in diesem Abschnitt detaillierter vorgestellt

¹¹² Durch den hohen Grad der Individualisierung von Kundenanforderungen, neue Technologien in der Branche und neue Wettbewerber ist die Zahl an Produktvarianten zur Befriedigung der Vielzahl an Anwendungsfällen im letzten Jahrzehnt stark angestiegen.

ternehmen bereits agile Vorgehensweisen eingeführt. In der Fallstudie bestand hierdurch das Ziel, agile plattformübergreifende Baukastenentwicklung weiter zu optimieren. (Heimicke, Kaiser et al., 2019; K. Kaiser, 2019)

Zunächst wurde der Anwendungsfall näher analysiert, wodurch der Status quo hinsichtlich Aufbau- und Ablauforganisation, die übergeordnete Zielsetzung sowie die individuellen Verbesserungspotentiale expliziert werden konnten. Durch die Einführung agiler Ansätze in die plattformübergreifende Baukastenentwicklung wurden bestehende Prozesse, Aktivitäten und Methoden sowie die Organisation der Aufgaben weiterentwickelt. Im Status quo verfügte jede Plattform über einen eigenen Product Owner und wird jeweils durch ein plattforminternes Produktteam und den einzelnen Entwicklungs- und Architekturteams entwickelt. Zudem werden diese Teams durch plattformübergreifende Teams unterstützt. Entwickelt wird in Sprints, wobei die jeweiligen Plattformen und die plattformübergreifenden Bereiche durch ein gemeinsames Backlog mit dem Fokus auf einen plattformübergreifenden modularen Aufbau miteinander verbunden sind. Hierdurch entsteht ein hohes Maß an Transparenz, da durch die gemeinsame Entwicklungsarbeit aller Entwicklungsbereiche in einem gemeinsamen Backlog eine plattformübergreifende Priorisierung von Entwicklungszielen möglich ist. Eine Folge aus dieser Vorgehensweise ist, dass im selben Backlog Produkt- und Architekturziele gemeinsam priorisiert werden. Hierin bestehen große Vorteile (wie das direkte Erkennen von Abhängigkeiten) oder auch Verbesserungspotentiale (z. B. aufgrund steigender Komplexität durch die zunehmende Anzahl an zu priorisierenden Zielen). Um die Optimierungspotentiale in diesem Umfeld zu erkennen und zu explizieren, wurden zwei Expertenworkshops sowie 11 Experteninterviews mit den Beteiligten durchgeführt. Hieraus wurden sieben Optimierungspotentiale kondensiert, die im weiteren Verlauf den ASD-Grundprinzipien zugeordnet wurden. Für diesen Lösungsraum wurde eine Systematik entwickelt, um ausgewählte Optimierungspotentiale zu realisieren. Folgende Optimierungspotentiale wurden für den Anwendungsfall erarbeitet (Heimicke, Kaiser et al., 2019)¹¹³:

- *Kommunikations- und Dokumentationsaufwand zwischen den plattformübergreifenden Entwicklungsteams soll durch einheitliche Handhabung und Planung der Entwicklungsinhalte reduziert werden.*
- *Nutzung der Synergiepotentiale der plattformübergreifend orientierten Entwicklung von Modulen.*
- *Durch die konsequente und kooperative Verfolgung gemeinsamer Ziele sollen Informationen, Anforderungen, Randbedingungen und Ziele plattformübergreifend kommuniziert werden.*

¹¹³ Die Potentiale wurden übersetzt.

- *Priorisierungskonflikte sollen durch die transparente, plattformübergreifende Abstimmung von Ressourcen vermieden werden.*
- *Die Integration der Prozesse (agil und strukturierend) soll die langfristige Ausrichtung in der agilen Entwicklung unterstützen.*
- *Bestehende Prozesse (Agilität und Strukturierung) sollten schrittweise integriert werden.*
- *Durch die Harmonisierung der verschiedenen Entwicklungsaktivitäten soll die plattformübergreifende Modulentwicklung optimiert werden.*

Diese Potentiale beziehen sich nicht nur auf einen bestimmten Bereich in der Produktentwicklung, sondern stellen vielmehr ein vages Zielsystem für die Prozessverbesserung dar. Um den Lösungsraum für die spezifische Prozesslösung zu konkretisieren, wurden die Potentiale den ASD-Prinzipien zugeordnet.

Die Zuordnung erfolgte qualitativ durch ein Team aus einem leitenden Entwickler im Anwendungsfall, dem Studierenden, der die Fallstudie im Rahmen seiner Abschlussarbeit durchführte sowie dem Autor (siehe Abbildung 6.3). In einer reflektierenden Diskussion bezüglich der Zuordnung wurden folgende Erkenntnisse expliziert:

- Grundlegend ist die Zuordnung von Potentialen und Herausforderungen zu Grundprinzipien möglich.
- Je detaillierter eine Herausforderung verstanden und expliziert wurde, desto leichter fällt die Zuordnung zu den Grundprinzipien.
- Eine Zuordnung spiegelt eine Tendenz wider.
- Es existieren Prinzipien, die in ihrer Beschreibung unscharf sind, sodass dies eine Zuordnung erschwert.
- **Eine methodische Unterstützung in der Zuordnung von Potentialen und Herausforderungen zu den Prinzipien erscheint in jedem Fall notwendig.**
- Die Konkretisierung des Lösungsraums durch die Zuordnung von Bedarfen zu den Grundprinzipien wurde als äußerst hilfreich wahrgenommen.

0	(1) Der Mensch steht im Zentrum der Produktentstehung (2) Jeder Produktentstehungsprozess ist einzigartig und individuell (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 Problemlösungs-prozess 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 kontinuierlichen Abgleich zwischen Problem und dessen Lösung (9) Für eine situations- und bedarfsgerechte Unterstützung in jedem Entwicklungsvorhaben müssen Denkweisen, Methoden und Prozesse skalierbar, adaptierbar und fraktal sein								
Module vorrangig für plattforminternen Baukasten	0	1	0	0	0	1	0	1	2
Plattformübergreifend wird auf gleiche Ressourcen zugegriffen.	0	1	0	2	0	1	0	0	1
Einheitliche Strukturierungs- und Planungsmöglichkeiten der Entwicklungsinhalte	1	1	2	2	1	0	1	0	1
Keine Verbindung zwischen einzelnen Plattformen vorhanden, obwohl in Orgastruktur abgebildet	1	1	2	1	2	0	0	1	1
Agilität wird noch nicht zu 100 % von den Entwicklern gelebt.	2	0	1	0	1	0	0	0	1
Prozess muss trotz fester Phasen gewisse Agilität und Individualität zulassen.	1	1	2	0	1	0	0	1	1
Langfristige Planung wird bei agiler Entwicklung aus den Augen verloren (Fokusverlust).	1	2	1	1	1	1	2	2	0
Entwicklungsarbeiten Baukasten nicht zu 100% harmonisch zur Arbeit der Produktentwicklung	1	1	0	0	1	1	2	2	1

Abbildung 6.3: Zuordnung der Anwendungsfall-spezifischen Optimierungspotentiale (Zeilen) zu den generischen Grundprinzipien des ASD – Agile Systems Design (Spalte). 0=geringe Verbindung, 1=grundlegende Verbindung, 2=starke Verbindung. Eigene Darstellung in Anlehnung an Heimicke, Kaiser et al. (2019)

Diese Erkenntnisse decken sich mit denjenigen aus den anderen beiden Fallstudien der ersten Evaluationsiteration¹¹⁴. Da das Ziel der ersten Evaluationsiteration darin bestand, das Vorgehen in der Zuordnung von Potentialen und Herausforderungen zu den Grundprinzipien zu evaluieren und Erkenntnisse zur weiteren Ausgestaltung der *Methodik zur situations- und bedarfsgerechten Entwicklung und Einführung einer individuellen agil-strukturierten Prozesslösung* zu generieren, wird die im Anwendungsfall entwickelte Prozesslösung nicht im Detail vorgestellt. Zentrale Elemente waren jedoch eine Erweiterung der Struktur des Agile-Boards von drei Ebenen (ursprünglich: *Projekt, Phase, Aktivität*) auf vier Ebenen (neu: *Projekt, Phase, Aktivität* und *Methode*) sowie eine Erweiterung des Backlogs zur Integration der plattformübergreifenden Ziele. In Anhang K sowie in Heimicke, Kaiser et al. (2019) und in K. Kaiser (2019) wird die entwickelte Prozesslösung sowie eine Evaluation dieser Prozesslösung durch Anwendende in der agilen plattformübergreifenden Baukastenentwicklung detailliert vorgestellt.

Für die Ausgestaltung der *Methodik zur situations- und bedarfsgerechten Entwicklung und Einführung einer individuellen agil-strukturierten Prozesslösung* konnten die Erkenntnisse zu diesem frühen Zeitpunkt bereits die Annahme bestätigen, dass ein Gewichten der Grundprinzipien für das Ziel der Methodik zweckmäßig ist. Der Wunsch der Anwendenden aus der ersten Evaluationsiteration, die eine methodische Unterstützung in der Zuordnung der anwendungsfallspezifischen Bedarfe zu den ASD-Prinzipien als notwendig erachteten, wurde durch die Formalisierung der Schritte *Situationsanalyse* und *Problemeingrenzung* sowie durch die Entwicklung der Methodenprofile als zentrales Inkrement dieser beiden Schritte aufgegriffen. Hierbei wurde die Vorgehensweise entwickelt, die spezifischen Bedarfe strukturiert zu identifizieren, zu explizieren und daraufhin wie in Abschnitt 5.2 beschrieben in Kontextebenen, Handlungsfelder und schlussendlich bis zu 20 Stellgrößen zu übersetzen. Aus den für die jeweiligen Anwendungsfälle als relevant identifizierten Stellgrößen, sollte daraufhin die Anwendungsfall-spezifische Gewichtung der ASD-Grundprinzipien errechnet werden (siehe Formel 1.1 in Abschnitt 5.2). Ebenfalls sollte hierdurch das Anwendungsfall-spezifische Zielsystem für die Prozesslösung konkretisiert und der Lösungsraum entsprechend zusätzlich durch die Stellgrößen detailliert werden. Hierbei entstand die Grundidee, methodische Elemente in einer Sammlung bereitzustellen, die anhand des Lösungsraums aus den Schritten *Situationsanalyse* und *Problemeingrenzung* den Anwendenden für den Schritt der *Alternativen Lösungssuche* sowie *Lösungsauswahl* zur Verfügung zu stellen.

¹¹⁴ Siehe hierzu Zimmermann et al. (2019) sowie Bobrysch (2019)

6.2.2 Evaluation der methodischen Identifikation des spezifischen und generischen Methodenprofils

Dieser Abschnitt basiert auf Erkenntnissen, die in den unter Beteiligung des Autors verfassten Publikationen (Heimicke, Pfau et al., 2021; Rapp et al., 2020) veröffentlicht wurden und in den durch den Autor co-betreuten Abschlussarbeiten (Blattner, 2020; Pfau, 2020; Weber, 2020)¹¹⁵ behandelt wurden.

In der zweiten Evaluationsiteration sollte hierbei zunächst das methodengestützte Priorisieren der ASD-Grundprinzipien analog der in Abschnitt 5.2 beschriebenen Vorgehensweise hinsichtlich seiner Zweckmäßigkeit und Umsetzbarkeit evaluiert werden. Zu diesem Zweck wurden drei Fallstudien (Fallstudien in grün in Tabelle 11) durchgeführt und das Arbeiten mit der Methodik zu diesem Zeitpunkt evaluiert. Die fixe Zuordnung der methodischen Elemente zu den Stellgrößen, wie sie in Abschnitt 5.3 beschrieben ist, existierte zu diesem Zeitpunkt zwar nicht, jedoch bestand bereits die Sammlung der methodischen Elemente als solche. Diese wurde im Schritt der *Alternativen Lösungssuche*, *Lösungsauswahl* und *Tragweitenanalyse* in der Durchführung der Fallstudien qualitativ unter Teilnahme des Autors genutzt. Analog zur ersten erfolgte auch in der zweiten Evaluationsiteration die Entwicklung und Einführung einer Prozesslösung im Zuge der Durchführung der Fallstudien. Außerdem wurden die Fallstudien der zweiten Evaluationsiteration ebenfalls durch unstrukturierte Interviews mit Experten aus dem jeweiligen Anwendungskontext durchgeführt und daraus Erkenntnisse für die Weiterentwicklung der Methodik generiert.

Fallstudie 4 wurde im Anwendungsfall der Reifegradabsicherung von Fahrzeugmotoren eines Fahrzeugherstellers durchgeführt. Die Aufgabe der Teilnehmenden im Anwendungsfall bestand darin, verschiedene Bauteile eines Fahrzeugmotors anhand verschiedener Meilensteine, zu denen diese Komponenten in einem definierten Reifegrad vorliegen müssen, hinsichtlich ihrer Kritikalität bezüglich einer Gefährdung des fristgerechten Serienanlaufs zu bewerten. Sobald ein Bauteil als kritisch eingestuft wird, leiten die Mitarbeitenden im Anwendungsfall entsprechende Maßnahmen ein. Im Anwendungsfall bestand bereits der Reifegradprozess und verschiedene Maßnahmen zur Klassifizierung von Bauteilen. Ziel der Prozessverbesserung war es, auf Grundlage einer systematischen Analyse von Variationsarten in der Komponentenentwicklung und deren Folgen für den Reifegradsteuerungsprozess aus dem impliziten Wissen der Mitarbeitenden einen Maßnahmenkatalog abzuleiten, um potenziellen Kritikalitäten mit klassifizierten Maßnahmen zu begegnen

¹¹⁵ Unveröffentlichte Abschlussarbeiten (co-betreut)

und aus den gewonnenen Erkenntnissen zu lernen. Die Ergebnisse der Fallstudie werden im Detail in Rapp et al. (2020) sowie Weber (2020) vorgestellt.

Fallstudie 5 wurde in der Abteilung der mechanischen Hardwareentwicklung eines Anbieters von Automatisierungslösungen im Bereich der In-vitro-Diagnostik durchgeführt (In Abbildung 6.4 ist ein Gesamtsystem dargestellt, innerhalb dessen die durch das Unternehmen entwickelten Automatisierungslösungen genutzt werden).



Abbildung 6.4: Beispielhaftes System, das Automatisierungslösungen des Unternehmens aus *Fallstudie 5* enthält. Bild des MosaiQ™ Instrument siehe The Greystones Guide (2020)

Das Unternehmen entwickelt direkt nach Kundenauftrag, wobei die entwickelten Lösungen durch die Entwickler zumeist als *neu*¹¹⁶ und individuell wahrgenommen werden. Im hochregulierten Umfeld der Medizintechnik war es das Ziel im Anwendungsfall, den Entwicklungsprozess dahingehend weiterzuentwickeln, dass sowohl die Kundenintegration als auch die Frequenz an Validierungen erhöht werden sollte und zugleich die Anforderungen aus den Richtlinien inklusive der Dokumentationsaktivitäten berücksichtigt werden mussten. Im Anwendungsfall wurde der Entwicklungsprozess nach dem *V-Modell* gestaltet. Das Ergebnis der Faktorenanalyse sowie der

¹¹⁶ Dies spiegelt die Sichtweise der Entwickler wider. Eine detailliertere Untersuchung, welche Bedeutung das Wort neu im Modell der PGE – Produktgenerationsentwicklung trägt, wurde ebenfalls im Anwendungsfall durchgeführt und ist in Albers, Ebertz et al. (2020) eingeflossen.

Gewichtung der ASD-Prinzipien wird im weiteren Verlauf des Abschnitts vorgestellt. Blattner (2020)¹¹⁷ zeigt in ihrer Arbeit zudem die Prozesslösung.

Fallstudie 6 wurde im technischen Änderungsmanagement des After Sales eines Fahrzeugherstellers durchgeführt. Basierend auf Änderungsanfragen aus dem Feld, beispielsweise durch Werkstätten, erfolgt die Weiterentwicklung von Komponenten. Diese wird durch die Abteilung begleitet, die Einhaltung relevanter Standards abgesichert und die angepassten Komponenten dem Markt zugänglich gemacht. Der Prozess basierte auf Erfahrungen der Mitarbeitenden. Das Ziel im Anwendungsfall bestand darin, durch eine Prozessverbesserung Verantwortlichkeiten und Aufgaben transparenter zu gestalten, den Mitarbeitenden relevante Methoden und Templates zugänglich zu machen und die strategische Ebene in der Priorisierung der Änderungsanträge zu unterstützen. (Heimicke, Pfau et al., 2021; Pfau, 2020)

In allen Fallstudien wurde analog zur formalisierten Methodik eine ausgiebige Situationsanalyse durchgeführt sowie im Zuge der Problemeingrenzung ein spezifisches sowie ein generisches Methodenprofil angefertigt. Diese wurden mit Entscheidern aus den Anwendungsfällen konkretisiert. In Abbildung 6.5 sind die Informationen aus den beiden generischen Methodenprofilen aus Fallstudie 5 und Fallstudie 6 sowie die entsprechende Priorisierung der Grundprinzipien dargestellt.

Aus der Gegenüberstellung in Abbildung 6.5 lässt sich unschwer erkennen, dass die generischen Methodenprofile für die Prozesslösung der beiden Anwendungsfälle divergieren. Dies zeigt unmittelbar, dass die Individualität eines jeden Anwendungsfalles trotz Generalisierung des Methodenprofils tendenziell bestehen bleibt. Zudem konnten Entwickler in den Anwendungsfällen, die sowohl auf operativer als auch auf strategischer Ebene tätig sind, die Priorisierung der Grundprinzipien für den jeweils spezifischen Anwendungsfall gut nachvollziehen.

¹¹⁷ Unveröffentlichte Abschlussarbeit (co-betreut)

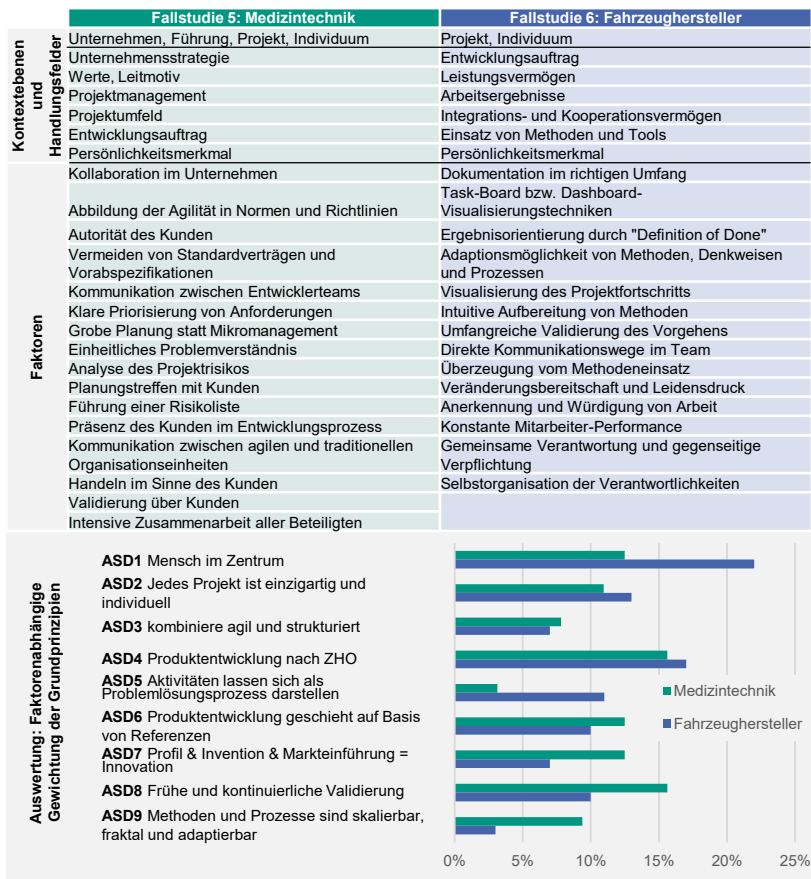


Abbildung 6.5: Vergleich der Informationen aus den generischen Methodenprofilen aus den Fallstudien 5 und 6. Hierdurch wird deutlich, dass jeder Anwendungsfall nach individuellen Verbesserungsmaßnahmen bedarf.

Über die drei Fallstudien der zweiten Evaluationsiteration hinweg wurden in jeweils einzelnen wissenschaftlichen Gesprächen unter Teilnahme des Autors, des jeweili-

gen Studierenden dessen Abschlussarbeit die Fallstudie zum Gegenstand hatte sowie Entwicklern aus den Anwendungsfällen folgende Erkenntnisse zum analysierten Reifegrad der Methodik und der vorbereiteten Inkremente gewonnen:

- Es ist sowohl möglich als auch sinnvoll, ein spezifisches Methodenprofil für den Anwendungsfall zu erarbeiten.
- Auf Basis des Methodenprofils oder gar Alternativen von Profilen lässt sich nach Einschätzung der Entscheider eine bessere Entscheidung zur Prozessverbesserung treffen als ohne das Methodenprofil.
- Das Überführen des Spezifischen in das generische Methodenprofil ist möglich und aufgrund der daraus resultierenden Priorisierung der Grundprinzipien sehr sinnvoll.
- Die Überführung des Spezifischen in das generische Methodenprofil und insbesondere die Faktorenauswahl wird als kompliziert wahrgenommen¹¹⁸.
- Es ist den Anwendenden nicht immer klar, welche Sachverhalte des Anwendungsfalls durch die generischen Handlungsfelder umfasst werden.
- Zur zielgerichteten Auswahl von Methoden wurde ein für die Realisierung der gewichteten Prinzipien geeigneter Methodenvorschlag gewünscht.
- Nach der Entwicklung der Prozesslösung wurde in zwei der drei Fallstudien gewünscht, durch die Methodik Vorschläge zur Unterstützung der Einführung der Prozesslösung zu erhalten.

Diese Erkenntnisse wurden in die weitere Ausgestaltung der *Methodik zur situations- und bedarfsgerechten Entwicklung und Einführung einer individuellen agil-strukturierten Prozesslösung* eingebracht. Insbesondere erfolgte nach der zweiten Evaluationsiteration die Systematisierung der Methodensammlung, die Formalisierung der übrigen Schritte (A, L, T, E, N) sowie eine Überarbeitung und Verbesserung der Schritte *Situationsanalyse* und *Problemeingrenzung* basierend auf dem spezifischen Feedback aus den drei Fallstudien (siehe Heimicke, Pfau et al. (2021)).

Die entwickelte und eingeführte Prozesslösung im technischen Änderungsmanagement des Fahrzeugherstellers ist in Abbildung 6.6 dargestellt. Ausgehend vom Anwendungsfall, innerhalb dessen bisher kein formalisierter Prozess existierte und Verbesserungspotentiale im Bereich der Verantwortungszuweisung und Priorisierung bestanden, wurde mittels der in der Forschungsarbeit vorgestellten Methodik ein Prozess entwickelt und eingeführt. Der Aufbau des Prozesses ist auf Basis des

¹¹⁸ Hierbei existieren keine richtigen oder falschen Vorgehensweisen in der Auswahl der Faktoren. Die Methodik soll lediglich Impulse für eine für den jeweiligen Anwendungsfall geeignete Faktorenauswahl geben.

Prozessverständnisses aus dem iPeM erstellt worden. Die Aktivitäten wurden auf Grundlage der Situationsanalyse für den Anwendungsfall gesammelt, abstrahiert und im Modell ergänzt. Zudem erfolgte eine Empfehlung geeigneter Methoden und entwickelter Templates zur Unterstützung der Aktivitäten. Auch eine Zuweisung von Verantwortlichkeiten wurde ergänzt. Außerdem wurde ein Sprinttakt im Anwendungsfall implementiert und ein entsprechender Referenzprozess ergänzt. In HEIMICKE, PFAU ET AL. (2021) sowie PFAU (2020) werden die spezifische Prozesslösung und ihre Evaluation im Detail diskutiert.

		Handlungssystem																				
Zielsystem	Aktivitäten im Änderungsmanagement der Baureihe	Methodenempfehlung	Zuständigkeit				Phasenmodell												Objektsystem			
			A	B	C	D	Sprint 1			Sprint 2			Sprint 3			Sprint n						
	Fahrzeugplanung beachten		X				1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
	Projekt managen		X																			
	KVP planen			X																		
	Projektfortschritt dokumentieren	Burndown-Chart		X																		
	Änderungsanträge bewerten	Template (Abb. 31) / SPALTEN				X																
	am Änderungsgespräch teilnehmen		X																			
	Protokoll in Sammelliste importieren	Excel-Makro	X																			
	Änderungsanträge verteilen	Excel-Makro	X																			
Sprint-Planning durchführen	Kanban-Board / SPALTEN	X	X	X																		
Änderungsanträge umsetzen	Kanban-Board / Template (Vorgabe)				X																	
Stand-Up Meeting halten	Burndown-Chart		X	X																		
Review Meeting durchführen			X	X																		
Retrospective Meeting durchführen	Starfish-Methode / SPALTEN		X	X																		
							Timeline															

Abbildung 6.6: Auf Basis des generischen Methodenprofils und den gewichteten Grundprinzipien entwickelte und eingeführte Prozesslösung in Fallstudie 6 (Heimicke, Pfau et al., 2021).

Aus den Erkenntnissen der ersten beiden Evaluationsiterationen wurden die verbliebenen Schritte (A, L, T, E und N) der *Methodik zur situations- und bedarfsgerechten Entwicklung und Einführung einer individuellen agil-strukturierten Prozesslösung* formalisiert. Insbesondere erfolgte basierend auf den hier gewonnenen Erkenntnissen die Erarbeitung der Vorgehensweise zum Vorschlag von methodischen Elementen auf strategischer und operativer Ebene (siehe Abschnitt 5.3), Unterstützung in der *Trageweitenanalyse* (siehe Abschnitt 5.3) sowie die Integration von Vorschlägen zur Einführung (siehe Abschnitt 5.4) und Erfolgsmessung (siehe Abschnitt 5.5) der entwickelten Prozesslösung. Für die finale Evaluationsiteration standen damit alle notwendigen Materialien zur Durchführung (Templates, Interviewleitfäden sowie Vorlagen zur Auswertung) zur Verfügung. Im nachfolgenden Abschnitt wird die fi-

nale Evaluationsiteration vorgestellt und dabei dezidiert der Einfluss der entwickelten Methodik auf Akzeptanz gegenüber und wahrgenommenen Mehrwert von agilen Elementen beleuchtet.

6.2.3 Evaluation des Beitrags der Gesamtmethodik zur Steigerung von Akzeptanz und wahrgenommenem Mehrwert gegenüber agilen Elementen

Dieser Abschnitt basiert auf Erkenntnissen, die in der unter Beteiligung des Autors verfassten Publikation (Heimicke, Reuter et al., 2021) veröffentlicht wurden und in den durch den Autor co-betreuten Abschlussarbeiten (Natale, 2021; Reuter, 2021; Schmid, 2021)¹¹⁹ behandelt wurde.

Das Ziel der dritten Evaluationsiteration war es, die *Methodik zur situations- und bedarfsgerechten Entwicklung und Einführung einer individuellen agil-strukturierten Prozesslösung* auf dem in der vorliegenden Forschungsarbeit vorgestellten Stand in ihrer Gesamtheit hinsichtlich der Evaluationsarten nach Blessing und Chakrabarti (2009) zu evaluieren (zum Vorgehen siehe Abschnitt 6.1). Zudem sollte der Einfluss der Methodik auf die Akzeptanz gegenüber und den wahrgenommenen Mehrwert von agilen Elementen über die jeweils entwickelte Prozesslösung festgestellt werden. Hierzu erfolgten drei weitere Fallstudien, die im Rahmen dreier studentischer Abschlussarbeiten durchgeführt wurden (siehe Fallstudien 7, 8 und 9 in Tabelle 11). Die quantitativen Ergebnisse der Fallstudien wurden miteinander verglichen und daraus Erkenntnisse bezüglich der entwickelten Methodik abgeleitet. Zudem wurde der qualitative Teil der Evaluation dazu genutzt, um Thesen für weitere Forschung im Bereich der Integration agiler Elemente in die Prozesse von Unternehmen der Mechatronikbranche aufzustellen.

Die *siebte Fallstudie* wurde im strategischen Wertschöpfungsmanagement eines deutschen Fahrzeugherstellers durchgeführt. Die Untersuchung erfolgte im Anwendungsfall der Entscheidungsvorbereitung und -unterstützung bezüglich der Wertschöpfungstiefe von Technologien, die das Potential für eine strategiekonforme Portfolioerweiterung des Unternehmens aufweisen. Im vorliegenden Anwendungsfall wurde das Team begleitet, das den Entscheidungsprozess für ein Entscheidungsgremium vorbereitet und hierzu eine enge Kollaboration mit den entsprechenden Fachbereichen durchführt. Auch eine Koordination der Informationsbereitstellung und -aufbereitung durch die Fachbereiche ist Teil des Teams. Potentiale

¹¹⁹ Unveröffentlichte Abschlussarbeiten (co-betreut)

zur Weiterentwicklung des im Anwendungsfall bestehenden Prozesses wurden darin gesehen, klare Deliverables im Prozess zu formulieren, eine iterative Vorgehensweise zu implementieren und eine Unterstützung durch geeignete Methoden vorzusehen. Ziel der Prozessverbesserung, die im Anwendungsfall entwickelt wurde, war es daher, den Prozess zu formalisieren, iterativer zu gestalten und dadurch die Kollaboration zwischen dem strategischen Wertschöpfungsmanagement und den Fachbereichen zu verbessern. Das detaillierte Vorgehen in der Prozessverbesserung sowie die entwickelte Prozesslösung und deren Einführung werden in Heimicke, Reuter et al. (2021) sowie Reuter (2021) vorgestellt.

Die 8. *Fallstudie* wurde bei einem Werkzeugmaschinenbauer durchgeführt. Hier war der durchführende Student Teil einer Abteilung (25 Personen aus unterschiedlichen Domänen im Kernteam), deren Aufgabe in der Entwicklung eines Baukastens für zwei unterschiedliche Werkzeugmaschinen zweier unterschiedlicher Plattformen besteht. Innerhalb beider Maschinen existieren zudem unterschiedliche Varianten. Die Abteilung entwickelt bereits nach einem agilen Framework, innerhalb dessen sie Entwicklungsgenerationen in sechs 4-wöchigen Sprints erzeugen. Die agilen Verantwortlichkeiten sowie die Events sind in der Abteilung etabliert. Jedoch stand die Abteilung zum Zeitpunkt der Untersuchung vor Herausforderungen infolge von erhöhter Projektlast und Fluktuation. Ziel der Prozessverbesserung war es daher, den aktuellen Stand der agilen Fähigkeiten zu analysieren und basierend hierauf Maßnahmen zu definieren, um im dynamischen Multiprojektumfeld das agile Arbeiten gezielt zu bewahren und zu verbessern. Die Vorgehensweise und die Ergebnisse der Fallstudie finden sich in Schmid (2021).

Fallstudie 9 wurde im Anwendungsfall des technischen Büros bei dem Stahlbauunternehmen *Stahlbau Schauenberg GmbH* durchgeführt. Das technische Büro ist im inhabergeführten Unternehmen als Organisationseinheit für die Konstruktion von durch den Kunden spezifizierte Stahlkonstruktionen verantwortlich. Die Mitarbeitenden im technischen Büro haben selbst keinen Kontakt mit den Kundinnen und Kunden. Das Kernteam im technischen Büro besteht aus 9 Konstruierenden, 2 Fachleute aus der Statik, 2 Projektabwickelnden und der Leitung. Insbesondere die Konstrukteure sind für die Umsetzung der Konstruktion zuständig, während die anderen Teilnehmenden im technischen Büro das Befähigen der Konstrukteurinnen und Konstrukteure zur Aufgabe haben und als Schnittstelle zur Projektleitung (Abteilung von drei Personen außerhalb des technischen Büros) fungieren. Die Aufgabe zur Prozessverbesserung wurde unmittelbar von der Geschäftsführung vergeben, wobei zunächst keine unmittelbaren Verbesserungspotentiale vorgeschlagen wurden. Vielmehr sollten im Zuge der Anwendung der *Methodik zur situations- und bedarfsgerechten Entwicklung und Einführung einer individuellen agil-strukturierten Prozesslösung* Verbesserungspotentiale identifiziert werden. Die Geschäftsführung

wurde kontinuierlich in den Verbesserungsprozess einbezogen und fungierte als reviewende Einheit. Die Studie wurde im Rahmen der Abschlussarbeit Natale (2021) durch den Studenten unter Betreuung des Autors durchgeführt.

In der *Situationsanalyse* und *Problemeingrenzung* wurden verschiedene Unternehmensbereiche analysiert und die Organisationsstruktur (siehe Anhang L) sowie die Abläufe im technischen Büro erfasst. Durch Interviews wurden in der Problemeingrenzung zunächst drei spezifische Methodenprofile entwickelt und gemeinsam mit der Geschäftsführung des Unternehmens dasjenige Profil für die weitere Realisierung ausgewählt, bei dem die größten Verbesserungspotentiale vermutet wurden (Anhang G).

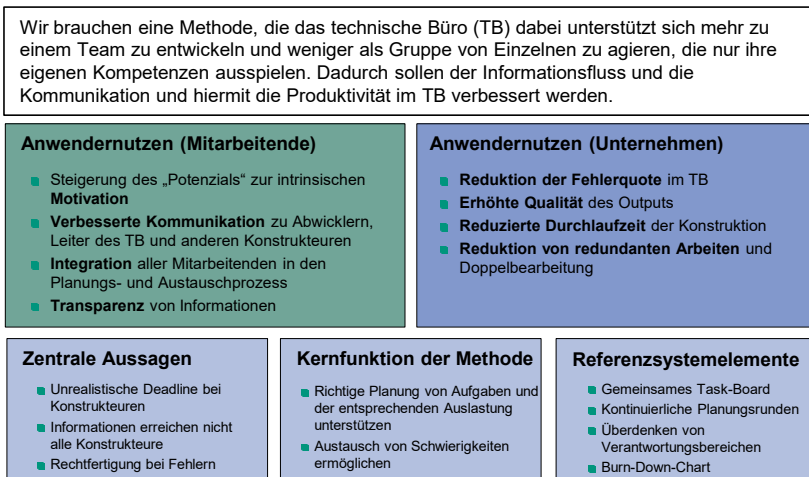


Abbildung 6.7: Auszug aus dem spezifischen Methodenprofil (siehe Abbildung 5.7) vom Anwendungsfall Technisches Büro bei der *Stahlbau Schauenberg GmbH*. Eigene Darstellung in Anlehnung an Natale (2021)

Da die Konstrukteure zumeist nach einem durch die Projektleiter geplanten Projektplan vorgehen und zum Untersuchungszeitpunkt kein formalisierter Prozess oder Maßnahmen zur Förderung der Kollaboration innerhalb des technischen Büros existierten, wurde in mehreren Interviews darauf hingewiesen, dass Aufgaben oftmals nicht in der vorgegebenen Zeit zu realisieren waren, da der Planungssicht der Bezug und die Kenntnis der tatsächlichen Auslastung der Konstrukteure fehlte. Zudem bestand trotz räumlicher Nähe der Mitarbeitenden im technischen Büro zueinander

kein Teamgefühl, wodurch Kollaboration und Kommunikation nicht zu einer Identifikation und Realisierung möglicher Synergien ausgelegt waren. Die Fachleute der Statik berichteten von einem hohen Anteil an unvorhergesehenen Abstimmungen und dadurch einer geringen Effizienz. Diese Umstände führten aus Sicht mehrerer Befragten zu einer Fehlerquote, die durch Prozessverbesserungen reduziert werden könnte. Die Zusammenhänge wurden in das spezifische Methodenprofil überführt und daraufhin mehrere relevante KPIs zur Messung einer späteren Prozessverbesserung abgeleitet. So sollte insbesondere die wahrgenommene Anzahl an unvorhergesehenen Abstimmungen der Statiker mit den Konstrukteuren, die Teamstimmung sowie die Anzahl an gemeinsam gelösten Problemen als Indikator für eine Prozessverbesserung erfasst werden. Nach der Auswahl durch die Geschäftsführung wurde das Spezifische in ein generisches Methodenprofil übersetzt und entsprechend den ausgewählten Faktoren und Handlungsfelder ein Vorschlag von methodischen Elementen zur Unterstützung der strategischen und operativen Ebene generiert (siehe Anhang G).

Aus diesen Elementen wurde Scrum als übergeordnetes Framework ausgewählt, wodurch ein sprintgetaktetes Vorgehen implementiert werden sollte. Außerdem wurde gemeinsam mit den Mitarbeitenden im technischen Büro die Gestaltung des Prozesses auf operativer Ebene vorgenommen. Zur Förderung von Kommunikation und Realisierung einer kontinuierlichen Verbesserung wurden die Elemente Daily und Retrospektive ausgewählt. So wurde gemeinsam eine Daily-Struktur erarbeitet, mittels derer die Mitarbeitenden dabei unterstützt werden sollten, diejenigen projektbezogenen Herausforderungen im Team zu besprechen, die unmittelbar durch ein Zusammenwirken des Teams gelöst werden können. Hierzu wurden KPIs formuliert, die im Daily aufgenommen werden, um die Qualität des Meetings sicherzustellen und bei Bedarf Maßnahmen abzuleiten, um das Meeting weiterzuentwickeln (siehe Tabelle in Abbildung 6.8). So sollten Synergien früh identifiziert und die Anzahl unvorhergesehener Abstimmungen mit den Statikern reduziert werden. Zudem wurden 2-wöchige Retrospektiven implementiert, innerhalb derer die Zusammenarbeit selbst weiterentwickelt werden soll (siehe Abbildung 6.8).

Bereits nach den ersten vier Wochen konnten die Mitarbeitenden im technischen Büro das Vorgehen verinnerlichen und in die Alltagsroutinen aufnehmen. Sie konnten unmittelbar feststellen, dass das tägliche Abstimmen und – sofern möglich – gemeinsame Lösen von Herausforderungen zu einer Verbesserung des Arbeitsalltags beitragen konnte. Außerdem konnte die Planbarkeit im Umgang mit auftretenden Herausforderungen aufgrund der gesteigerten Transparenz erhöht werden. Die Dauer des Meetings reduzierte sich zudem, da die Abläufe schnell verinnerlicht werden konnten. In Natale (2021) wird die gesamte Fallstudie im Detail vorgestellt.

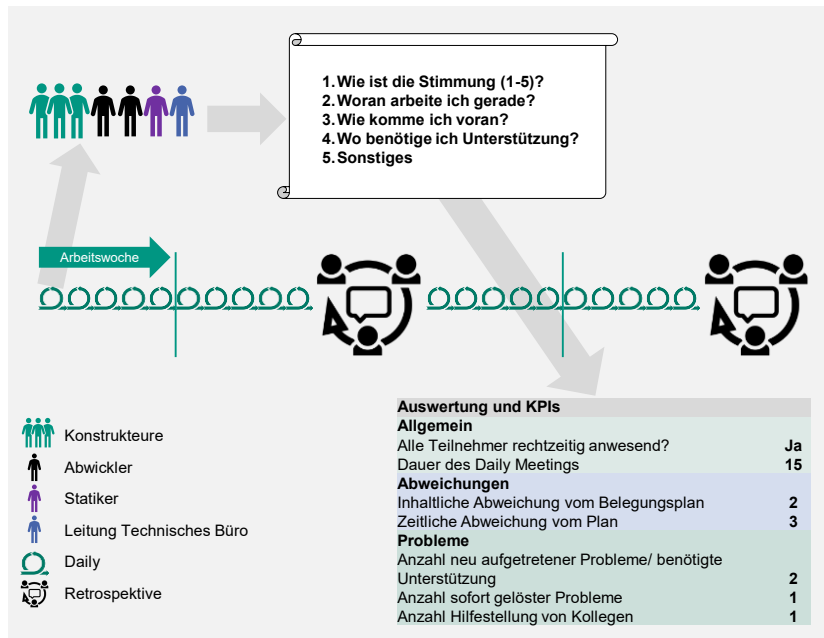


Abbildung 6.8: Für den Anwendungsfall *technisches Büro bei der Stahlbau Schauenberg GmbH* entwickelte und implementierte Prozesslösung.

Im Zuge aller drei Fallstudien der dritten Evaluationsiteration wurde die in Abschnitt 6.1 vorgestellte Evaluationsmethodik angewandt. So wurden die einzelnen Methodenschritte und die entsprechenden Ergebnisse mittels der Fragebögen evaluiert. Die Ergebnisse dieser Evaluation wurden über die drei Fallstudien hinweg untersucht (siehe Abbildung 6.9 und Abbildung 6.10).



Abbildung 6.9: Auswertung ausgewählter Fragen aus dem quantitativen Teil der dritten Evaluationsiteration. Die Zahlen auf der rechten Seite stellen den Durchschnitt aus den drei Fallstudien dar. Hier zeigen sich erste Verbesserungspotenziale (E46, U18, A14, A21).

In Abbildung 6.10 ist zu erkennen, dass die in der Forschungsarbeit vorgestellte Methodik hinsichtlich aller drei Evaluationsarten tendenziell einen positiven Effekt

hat. Zur Generierung dieser Abbildung wurden alle Fragen, die den Evaluationsarten zugeordnet sind, berücksichtigt und die Anzahl des jeweils durch die Anwendenden ausgewählten Likert-Kriteriums aufsummiert. Daraufhin wurden die Anteile der einzelnen Likert-Werte prozentual errechnet. Dieses Vorgehen ist möglich, da die den Evaluationsarten zugeordneten Kriterien ungewichtet sind. Auch dem Auszug aus Abbildung 6.9 ist die überwiegend positive Wirkung der Methodik in der situations- und bedarfsgerechten Integration agiler Elemente in die Prozesse zu entnehmen. Auffällig ist jedoch, dass die Methodik insbesondere bei den Eigenschaften Intuitivität und Komplexität divergente Meinungen hervorruft. Dies lässt sich zum einen mit den subjektiven Methodenkenntnissen der Anwendenden erklären, stellt andererseits jedoch den stärksten Verbesserungsvorschlag für zukünftige Forschungsarbeiten dar. Oftmals wurde hier die fehlende oder zu wenig detaillierte Erklärung und Begründung von Zusammenhängen bemängelt.

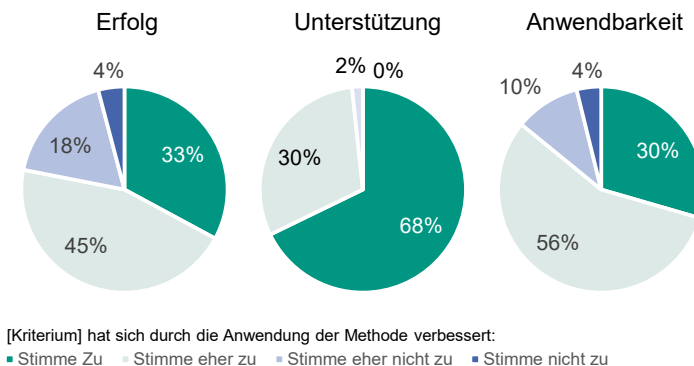


Abbildung 6.10: Anteil der jeweils den entsprechenden Evaluationsarten zugeordneten Fragen nach den Likert-Werten aus den drei Fallstudien im Rahmen der dritten Evaluationsiteration. Je Fallstudie wurden in der Kategorie *Erfolg* 49 Fragen, in der Kategorie *Unterstützung* 20 Fragen und in der Kategorie *Anwendbarkeit* 26 Fragen beantwortet.

Hinsichtlich der Akzeptanz gegenüber und dem wahrgenommenen Mehrwert von agilen Elementen (siehe Abbildung 6.10 *Erfolg*) konnte die Methodik insgesamt einen positiven Effekt bewirken. Insbesondere die Eignung der implementierten Prozesslösung für den jeweiligen Kontext wurde als sehr positiv wahrgenommen. Allerdings lässt sich auch hier die Intuitivität der entwickelten Lösungen steigern, da Anwendende die Prozesslösung oftmals nicht unmittelbar verstanden.

Die Zusammenhänge, die der *Methodik zur situations- und bedarfsgerechten Entwicklung und Einführung einer individuellen agil-strukturierten Prozesslösung* zugrunde liegen, werden derzeit im BMBF-geförderten Projekt *MoSyS- menschenorientierte Gestaltung komplexer System of Systems* genutzt, um ebenfalls individuelle Veränderungsprozesse zu unterstützen. Im folgenden Abschnitt wird der qualitative Teil der Evaluation und darauf basierende Verbesserungsvorschläge beschrieben.

6.3 Verbesserungspotentiale der Methodik

Dieser Abschnitt basiert auf Erkenntnissen, die in der unter Beteiligung des Autors verfassten Publikation (Heimicke, Reuter et al., 2021) veröffentlicht wurden und in den durch den Autor co-betreuten Abschlussarbeiten (Natale, 2021; Reuter, 2021; Schmid, 2021)¹²⁰ behandelt wurden.

Im Zuge ihrer Anwendung wurde die *Methodik zur situations- und bedarfsgerechten Entwicklung und Einführung einer individuellen agil-strukturierten Prozesslösung* kontinuierlich weiterentwickelt. Dafür erfolgte die durchgängige Sammlung qualitativen Feedbacks innerhalb der Fallstudien, welches im vorliegenden Abschnitt kondensiert wird und damit die folgende Teilforschungsfrage beantwortet wird.

FF III.iii: Welche Elemente der entwickelten Methodik zur situations- und bedarfsgerechten Auswahl, Adaption, Entwicklung und Einführung agil-strukturierter Prozesslösungen funktionieren bereits zufriedenstellend und welche Verbesserungspotentiale ergeben sich aus ihrer praktischen Anwendung?

Um die in den Fallstudien gesammelten Erfahrungen zur Weiterentwicklung der Methodik nutzen zu können, wurde ein regelmäßiger Austausch der Studierenden anberaunt. Die hierdurch generierten Erkenntnisse wurden bis zuletzt in die Methodik eingearbeitet. Jedoch existieren weiterhin Verbesserungsvorschläge, die zukünftig in die Methodik eingearbeitet werden können.

In Abbildung 6.11 ist das Ergebnis eines Austauschs zwischen den Abschlussarbeitern dargestellt. Dieser Austausch fand regelmäßig mit dem Ziel statt, die Methodik weiterhin zu verbessern.

Insbesondere wurden die strukturierenden Elemente innerhalb der Methodik als sehr hilfreich erachtet. Auch die vorbereiteten Zuordnungen zwischen Methoden,

¹²⁰ Unveröffentlichte Abschlussarbeiten (co-betreut)

Faktoren, Handlungsfeldern und Grundprinzipien sowie die gefühlte Vollständigkeit der Methodensammlung wurden als zielführend erachtet. Generell empfanden alle Studierenden nach der Anwendung der Methodik das Ziel, eine geeignete Kombination aus strukturierenden und agilen Elementen zu identifizieren und in den Prozess einzuführen als erreicht.

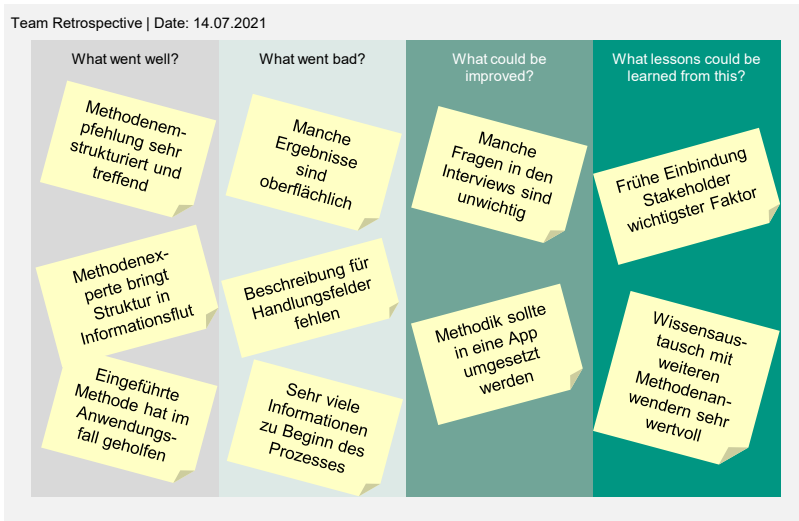


Abbildung 6.11: Auszug aus dem regelmäßigen wissenschaftlichen Austausch zwischen den Abschlussarbeitern, die die Fallstudien der letzten Evaluationsiteration durchgeführt haben.

Kritisch sahen sie die Fülle an Informationen, die mit der Gesamtmethodik mitgeliefert wurde. Andererseits fehlten in Ausnahmefällen beschreibende Informationen zu den Methoden aus der Datenbank oder waren zu umständlich formuliert¹²¹. Die beiden größten Verbesserungspotentiale wurden in einer Steigerung der Intuitivität der Methodik sowie einer weiteren methodischen Unterstützung in der Überführung von Informationen an den Schnittstellen zwischen generischen und spezifischen Methodeninkrementen¹²² gesehen.

¹²¹ Zwar ist dieser Aspekt nicht in Abbildung 6.11 aufgeführt, konnte jedoch in vertiefenden Gesprächen mit den Studierenden identifiziert werden.

¹²² In der Erstellung des Methodenprofils sowie der Prozesslösung selbst

In dem Reifegrad der *Methodik zur situations- und bedarfsgerechten Entwicklung und Einführung einer individuellen agil-strukturierten Prozesslösung* in dem sie in der vorliegenden Arbeit vorgestellt wurde, ist eine Unterstützung in der Anwendung durch den Autor unerlässlich, da ein hoher Anteil an implizitem Wissen in der Anwendung der Methodik benötigt wird. Trotzdem konnte in allen neun Fallstudien eine für den jeweiligen Anwendungsfall geeignete Prozesslösung entwickelt und eingeführt werden. Durch die *Methodik zur situations- und bedarfsgerechten Entwicklung und Einführung einer individuellen agil-strukturierten Prozesslösung* konnte somit die Realisierung der ASD-Grundprinzipien konkretisiert und insbesondere operationalisiert werden. Zudem konnten Akzeptanz und wahrgenommener Mehrwert von agilen Ansätzen in der Tendenz gesteigert werden. Jedoch wurde gezeigt, dass zudem die Notwendigkeit besteht, zugleich geeignete strukturierende Elemente in die Prozesse einzubringen. In weiteren Transformationsvorhaben und insbesondere in der praktischen Anwendung wird jedoch dazu geraten, dass keine Unterscheidung zwischen agilen und strukturierenden Elementen in der Kommunikation erfolgt. Das zentrale Kriterium hinsichtlich dessen ein Element für eine Prozessverbesserung ausgewählt werden sollte, ist seine Eignung, um im jeweiligen Anwendungsfall eine Verbesserung verglichen mit dem Status quo zu bewirken.

In zukünftigen Evaluationsstudien sollte die Anzahl an Fallstudien erhöht und deren quantitative Erkenntnisse zur Weiterentwicklung der Methodik genutzt werden. Zudem lässt sich die Evaluationsmethodik hinsichtlich der Berücksichtigung von Abhängigkeiten sowie Klarheiten in den erhobenen Kriterien verbessern. Die Anwendbarkeit kann durch die Umsetzung der Methodik in einer Softwarelösung reproduzierbar erhoben werden.

7 Zusammenfassung und Fazit

In diesem Kapitel werden die Inhalte der vorangegangenen Kapitel komprimiert wiedergegeben und daraus ein übergreifendes Fazit abgeleitet.

7.1 Zusammenfassung

Die zunehmende Konnektivität sowie Automatisierung bis hin zur Autonomie technischer Systeme, hieraus resultierende System-of-Systems in den Systemnutzungsphasen sowie eine voranschreitende Domänendiversität im Handlungssystem führen zu den Herausforderungen der Produktentstehung des 21. Jahrhunderts. In einem dynamischen globalen Umfeld müssen Unternehmen reaktionsfähig gegenüber Änderungen im Produktentstehungskontext sein, um Kundinnen- und Kunden- sowie Anwendendennutzen realisieren zu können. Zugleich müssen sie bestehendes Produkt- und Prozesswissen gezielt einsetzen, um z. B. gesetzliche Rahmenbedingungen sowie interne und externe Richtlinien zu erfüllen und hieraus resultierende Anbietendennutzen zu erzeugen.

In eine von Normen und Standards geprägte Kultur, in der Produktentstehungsprozesse mittels plangetriebener Ansätze, wie dem *Stage-Gate-Prozess*, beschrieben und koordiniert werden, führen Unternehmen verstärkt agile Ansätze ein. Diese entstammen der Softwareentwicklung, weshalb die dortigen Wirkbeziehungen zwischen Prozesselementen ihrer Prozessbeschreibung zugrunde liegen. Durch die Erweiterung des Handlungssystems versprechen sich Organisationseinheiten in Unternehmen der Mechatronikbranche, die Trägheit, die durch plangetriebene Ansätze in Produktentstehungsprozessen entsteht, durch die Reaktionsfähigkeit agiler Rahmenwerke aufzuweichen. Fall- und Feldstudien zur Untersuchung agiler Ansätze im Einsatz in Entwicklungsabteilungen bescheinigen agilen Ansätzen wie *Scrum* oder *Design Thinking* durchaus positive Effekte. Die Herausforderungen im Einsatz unangepasster agiler Elemente in den Prozessen der Mechatroniksystementwicklung überwiegen jedoch. So lassen sich die physischen Grenzen technischer Systeme in den kurzzyklischen Entwicklungsiterationen agiler Rahmenwerke nicht überwinden. Zudem fehlt die Integration bestehenden Prozess- und Produktwissens in die Produktentstehungsprozesse, die durch agile Rahmenwerke koordiniert werden. Außerdem werden organisatorische Rahmenbedingungen bestehender Wertschöpfungsnetzwerke nicht berücksichtigt.

Diese Herausforderungen, die dem nachhaltigen Einsatz agiler Elemente in der Entwicklung mechatronischer Systeme entgegenstehen, können durch eine Gestaltung von Produktentstehungsprozessen nach dem Ansatz des ASD – Agile Systems Design, dem das grundlegende Verständnis der Produktentstehung nach dem Modell der PGE – Produktgenerationsentwicklung unterliegt, minimiert werden.

Daher wurde in der vorliegenden Arbeit eine Methodik zur anwendungsfallspezifischen Integration agiler Elemente im Einklang mit den Rahmenbedingungen von Produktentstehungsprozessen in der Mechatronikbranche unter Nutzung bestehenden Produkt- und Prozesswissens entwickelt.

Dabei wurde der Ansatz des ASD – Agile Systems Design genutzt. Durch die Gestaltung von Produktentstehungsprozessen mittels des ASD – Agile Systems Design werden die neun dem Ansatz zu Grunde liegenden Grundprinzipien situations- und bedarfsgerecht durch eine geeignete Kombination aus agilen und plangetriebenen Methoden, Prozessen, Modellen und Praktiken in die Handlungssysteme eingebracht.

In einer dreiteiligen Vorstudie wurden die Anforderungen an Handlungssysteme der heutigen und zukünftigen Produktentstehung aus dem Blickwinkel dynamischer und träger Einflüsse auf Produktentstehungsprozesse ermittelt und bestehende sowie aufstrebende Prozessmodelle und Rahmenwerke hinsichtlich ihrer Berücksichtigung dieser Anforderungen analysiert. Aus der Erkenntnis heraus, dass kein Prozessmodell existiert, das es Handlungssystemen ermöglicht, mit der Dynamik ebenso gezielt umzugehen, wie mit Anforderungen an Stabilität und Struktur in der Produktentstehung, wurden eine qualitative Expertenbefragung und eine quantitative Studie durchgeführt. Mittels dieser beiden Studien konnte der Forschungsbedarf ermittelt werden, Handlungssysteme bei der gezielten Einführung agiler Elemente unter Berücksichtigung der Anforderungen von Unternehmen der Mechatronikbranche zu unterstützen und agile und strukturierende Elemente entlang der Anforderungen des jeweiligen Anwendungsfalls in einer übergreifenden Prozesslösung einzuführen. Die Formalisierung und Ausgestaltung dieses Problemlösungsprozesses war das Ziel der vorliegenden Forschungsarbeit.

Ziel der Forschungsarbeit:

Das Ziel dieser Arbeit ist die Entwicklung einer Methodik, die den Problemlösungsprozess zur Auswahl, Adaption, Entwicklung und Einführung einer individuellen agil-strukturierten Prozesslösung zur situations- und bedarfsgerechten Befriedigung der anwendungsfallspezifischen Anforderungen von Handlungssystemen in der Gestaltung der Mechatroniksystementwicklung unterstützt.

Um diese Zielsetzung zu erreichen, wurden die folgenden drei übergeordnete Forschungsfragen definiert und in der Forschungsarbeit beantwortet:

FF I: Welche Anforderungen an die Gestaltung von Entwicklungsprozessen ergeben sich aus dem bestehenden Agilitätsverständnis von Handlungssystemen der Entwicklung mechatronischer Systeme?



FF II: Wie ist eine Methodik zu gestalten, die die situations- und bedarfsgerechte Auswahl, Adaption, Entwicklung und Einführung agil-strukturierter Prozesslösungen unterstützt?



FF III: Welchen Beitrag leistet der Einsatz der Methodik auf die Akzeptanz und den wahrgenommenen Mehrwert agil-strukturierter Prozesslösungen in der Mechatroniksystementwicklung?



Abbildung 7.1: Forschungsfragen, die in der Forschungsarbeit beantwortet wurden

Die Forschungsfragen und damit verbunden die Entwicklung der übergreifenden Systematik wurden iterativ beantwortet, um eine frühzeitige und kontinuierliche Validierung der Zielidentifikation und -erreicherung zu ermöglichen. Dabei wurde die Forschungsarbeit nach der *DRM – Design Research Methodology* nach Blessing und Chakrabarti strukturiert.

Um eine einheitliche Grundlage hinsichtlich des Agilitätsverständnisses zu schaffen, wurde zunächst eine systematische Literaturrecherche durchgeführt und ein Agilitätsverständnis erzeugt, das der Arbeit zu Grunde gelegt wurde:

Definition Agilität

Agilität ist die Fähigkeit eines Handlungssystems, die Gültigkeit eines Projektplans hinsichtlich der Planungsstabilität der Elemente im ZHO-Triple kontinuierlich zu überprüfen, zu hinterfragen und bei Vorliegen einer ungeplanten Informationskonstellation eine situations- und bedarfsgerechte Anpassung der Sequenz aus Synthese- und Analyseaktivitäten umzusetzen, wodurch der Kundinnen und Kunden-, Anwendenden- und Anbietendennutzen zielgerichtet erhöht werden.

Zur Konkretisierung der Herausforderungen im Einsatz agiler in Kombination mit strukturierenden Elementen wurden die folgenden zwei Ergebnisse erarbeitet:

1. Die Konkretisierung von Herausforderungen und Einflüssen auf Akzeptanz und wahrgenommenen Mehrwert agiler Elemente im Einsatz der Mechatroniksystementwicklung
2. Sammlung und Klassifizierung von Einflussfaktoren auf die agilen Fähigkeiten von Organisationseinheiten

So konnte die bereits durch SCHMIDT, WEISS UND PAETZOLD (2018b) gewonnene Erkenntnis, dass der tatsächliche wahrgenommene Mehrwert agiler Ansätze geringer ist, als der erwartete bestätigt werden. Insbesondere die Steigerung der Reaktionsfähigkeit konnte als geringer als erwartet identifiziert werden. Die Akzeptanz gegenüber agilem Arbeiten hängt stark von der Eignung des jeweils genutzten Ansatzes für die Unterstützung im jeweiligen Anwendungsfall ab.

In einer Literaturanalyse, deren Ergebnisse durch Workshops mit Fachleuten aus Unternehmen und weiteren Forschungsgesprächen konkretisiert wurden, konnten über 220 Einflussfaktoren identifiziert werden, die einen Einfluss auf die agilen Fähigkeiten von Unternehmen in der Mechatroniksystementwicklung haben. Diese Faktoren wirken auf allen Ebenen der Organisation (*Individuum, Projekt, Abteilung, Gesamtorganisation*) in einer Vielzahl an Handlungsfeldern (z. B. *Projektmanagement, Umgang mit Wissen*, etc.). Hierbei ist für jeden Anwendungsfall eine individuelle Faktorenauswahl relevant. Folgende übergreifende Anforderungen an die zu entwickelnde Systematik konnten im ersten Forschungsstadium identifiziert werden:

1. Dabei unterstützen, Agilität individuell einzuführen.
2. Agilität in unterschiedlichen Organisationsebenen einführen können.
3. Agilität in unterschiedlich reife Anwendungsbereiche einführen können.
4. Sowohl agile als auch klassische Elemente in die Prozesse einbringen.
5. Eine iterative Einführung von Agilität ermöglichen.
6. Den Erfolg der Einführung agiler Elemente messbar machen.

Im zweiten Forschungsstadium (Kapitel 0) wurden diese Anforderungen bedient und die *Methodik zur situations- und bedarfsgerechten Entwicklung und Einführung einer individuellen agil-strukturierten Prozesslösung* entwickelt. In Abbildung 7.2 wird die Methodik, mittels derer eine für einen beliebigen Anwendungsfall relevante Prozessverbesserung erzielt werden soll, skizziert. So ist das Vorgehen als Problemlösungsprozess beschrieben, der iterativ durchlaufen wird und innerhalb dessen verschiedene Inkremente erzeugt und kontinuierlich weiterentwickelt werden.

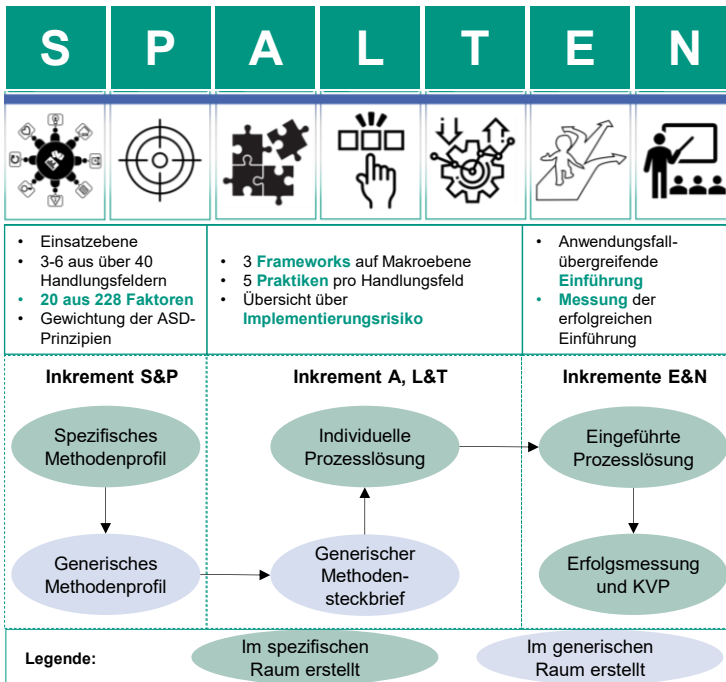


Abbildung 7.2: Grobablauf der in der entwickelten Methodik

Die Problemlösungsmethode SPALTEN strukturiert den Prozess. Durch eine Analyse des spezifischen Anwendungsfalls mittels Befragungen der involvierten Entwickelnden, Beschreibung von Aufbau und Ablauforganisation und den Schnittstellen im Anwendungsfall wird ein konkretes Prozessverbesserungspotential identifiziert. Dieses sollte bestenfalls durch die involvierten Entwickelnden getragen und durch messbare Kennzahlen quantifiziert werden. Aus den Ergebnissen der Analyse wird das **erste Inkrement** der Prozessverbesserung – das Methodenprofil – abgeleitet. Dieses hat neben dem spezifischen einen generischen Teil, der eine priorisierte Auswahl von bis zu 20 Einflussfaktoren aus der vorgeschlagenen Sammlung, die im ersten Forschungsstadium identifiziert wurde, umfasst. Unter Nutzung eines im Rahmen der Forschungsarbeit entstandenen Tools wird die Auswahl der Faktoren mittels Zugriffs über die Handlungsfelder der Produktentstehung aus der VDI 2221:2019 Blatt 2 unterstützt. Durch eine im Rahmen der Methodikentwicklung vor-

genommene Zuordnung der Faktoren zu den Grundprinzipien des ASD – Agile Systems Design werden diese durch die Faktorauswahl gewichtet und hierdurch eine anwendungsfallspezifische Prinzipienrelevanz, die die Entwicklung der spezifischen Prozesslösung flankiert, ermittelt. Diese Ergebnisse sind ebenfalls Teil des generischen Methodenprofils.

Im **zweiten Inkrement** wird auf Basis des generischen Teils des Methodenprofils eine für den Anwendungsfall geeignete Prozesslösung zur Realisierung der Prozessverbesserungspotentiale generiert. Hierzu werden den Anwendenden in Abhängigkeit der priorisierten Faktoren, gewichteten ASD-Grundprinzipien und ausgewählten Handlungsfeldern bis zu drei übergeordnete Prozessmodelle und Frameworks sowie bis zu 30 Methoden und Praktiken zur Unterstützung der operativen Prozessebene in einem durch den Autor entwickelten Methodensteckbrief vorgeschlagen. Diese Elemente entstammen einer im Rahmen der Forschungsarbeit aufgebauten und gegenüber den Faktoren, Grundprinzipien und Handlungsfeldern vorbereiteten Sammlung. Diese umfasst neben den prozessualen KaSPro-Elementen weitere Methoden und Praktiken zur Realisierung agiler sowie plangetriebener Entwicklung mechatronischer Systeme. So wird zumeist eine Kombination aus agilen und plangetriebenen Elementen vorgeschlagen. Die Auswahl der Elemente ist hinsichtlich ihrer Eignung zur Befriedigung des generischen Methodenprofils bewertet. Aus dieser Auswahl wird eine übergreifende Prozesslösung erarbeitet.

Diese Prozesslösung wird in den Anwendungsfall eingeführt. Dies erfolgt unter Nutzung von vorbereiteten jedoch an die Anforderungen des Anwendungsfalls anzupassenden Einführungsstrategien. Das Einführungskonzept stellt das **dritte Inkrement** dar, welches im besten Fall durch die im Anwendungsfall kollaborierenden Stakeholder gemeinsam erarbeitet wird. Nach der initialen Einführung ist eine kontinuierliche Weiterentwicklung der Prozesslösung anzustreben, sodass ein iterativer Einführungsprozess erreicht wird.

Ein zentraler Teil im Einführungsprozess ist die kontinuierliche Verbesserung und daraufhin erneute unmittelbare Anwendung der Prozesslösung. Die Verbesserung wird im Rahmen einer in der Arbeit vorgeschlagenen Kombination aus quantitativer Erhebung der zu Beginn des Prozesses vorgeschlagenen Kennzahlen und einer methodisch gestützten Reflexion evaluiert. Die kombinierten Ergebnisse dieses Nachbereitens und Lernens stellt das **vierte Inkrement** dar.

Da der Einführungsprozess iterativ gestaltet wird, werden kontinuierlich weitere Inkremente in Bezug auf die Prozessverbesserung durch eine Kombination aus agilen und plangetriebenen Elementen generiert. Diese ergeben sich zumeist aus einem Wechsel von **Inkrement 3** und **Inkrement 4**, wobei jedoch stets Elemente aus allen

Inkrementen (wie beispielsweise die Schärfung der Vision der Prozessverbesserung im Claim des spezifischen Methodenprofils) modifiziert werden können.

Zur Überprüfung des Beitrags zur Steigerung von Akzeptanz und wahrgenommenen Mehrwert agiler Elemente in der Entwicklung mechatronischer Systeme wurden die drei Evaluationsarten nach Blessing und Chakrabarti – Erfolgsevaluation, Unterstützungsevaluation und Anwendbarkeitsevaluation – genutzt. Um eine frühe Evaluation und dadurch bestmögliche Unterstützung in der Prozessverbesserung durch die Einführung agil-strukturierter Prozesslösungen zu gewährleisten, wurde die im Rahmen der Forschungsarbeit entwickelte Methodik in drei Evaluationsiterationen in insgesamt neun Fallstudien in der Praxis evaluiert. Zum finalen Stadium der Forschungsarbeit konnte gezeigt werden, dass die entwickelte Methodik zielgerichtete Veränderung im Entwicklungsprozess unterstützt und in der Tendenz geeignete Elemente vorgeschlagen werden. Jedoch sollten die Beschreibung der Methodik und der Elemente, die sie beinhaltet intuitiver gestaltet werden (siehe Abbildung 7.3).

Die entwickelte *Methodik zur situations- und bedarfsgerechten Entwicklung und Einführung einer individuellen agil-strukturierter Prozesslösung* leistet einen Beitrag zur gezielten Weiterentwicklung von Handlungssystemen des ASE – Advanced Systems Engineering. Hierbei unterstützt sie die Integration agiler sowie auf Produkt- und Prozesswissen basierender Elemente und berücksichtigt die Kultur und Rahmenbedingungen, die in der Mechatroniksystementwicklung vorliegen. Durch die detaillierte Auseinandersetzung der Anwendenden mit den realen Bedarfen im Handlungssystem ermöglicht die Methodik eine gezielte Auswahl und Einführung von Prozesselementen und eine hierdurch hervorgerufene und durch die Anwendenden wahrgenommene Prozessverbesserung.



Abbildung 7.3: Auszug aus der Evaluation der Methodik in drei Fallstudien

Die Qualität der Zuordnung der Elemente zueinander – Faktoren, Handlungsfelder, ASD – Grundprinzipien, Methoden, Praktiken, Prozessmodelle und Frameworks – entstanden auf Basis von auf der Literatur und praktischen Erfahrungen gestützten Annahmen des Autors und sind als subjektiv anzusehen. Außerdem ist sind die Elemente in den Faktoren- und Methodensammlungen zu erweitern.

7.2 Fazit

Der Erkenntnisgewinn durch die vorliegende wissenschaftliche Arbeit entsteht im Wesentlichen durch das geschaffene Verständnis bezüglich der Aktivitäten und genutzten Methodischen Elemente entlang des Problemlösungsprozesses der individuellen und anwendungsfallspezifischen Einführung agiler Elemente in die Prozesse der Mechatroniksystementwicklung. Zunächst wurde die Notwendigkeit, dass agile Prozesselemente mit in der Mechatroniksystementwicklung bestehenden und tendenziell plangetriebenen Elementen in einer geeigneten Kombination eingeführt werden sollten, im Rahmen der Forschungsarbeit erfasst.

Zudem konnte in der Forschungsarbeit gezeigt werden, dass die Einführung agiler Elemente im Einklang mit den Rahmenbedingungen der Mechatroniksystementwicklung stets ein individueller Problemlösungsprozess ist. Zentral für die erfolgreiche Einführung ist die Anwendungsfall-spezifische Identifikation von Verbesserungspotentialen und Herausforderungen, denen mittels der Einführung begegnet werden soll. In der Arbeit konnte gezeigt werden, dass diese Identifikation durch ein spezifisches (qualitativ beschriebenes) sowie ein generisches (durch relevante Einflussfaktoren und eine Auswahl an vorgegebenen Handlungsfeldern) Methodenprofil unterstützen lässt. Dabei unterstützt die Formalisierung einer jeden spezifischen Situation durch eine geeignete Auswahl an zu verbessernden Einflussfaktoren auf agile Fähigkeiten von Organisationseinheiten die gezielte Auswahl von methodischen Elementen zur Einführung von Agilität.

Die Identifikation geeigneter methodischer Elemente sowie Prozessmodelle lässt sich zudem durch eine anwendungsfallspezifische Gewichtung von ASD-Grundprinzipien unterstützen, was ebenfalls in der Arbeit gezeigt werden konnte.

Zuletzt konnte gezeigt werden, dass die Einführung einer spezifischen agil-strukturierten Prozesslösung wiederum als Problemlösungsprozess erfolgen sollte.

8 Ausblick

Durch die Forschungsarbeit konnte ein Beitrag zur zielgerichteten und im Angesicht der heutigen und zukünftigen Herausforderungen im ASE – *Advanced Systems Engineering* notwendigen SGE – Systemgenerationsentwicklung des Handlungssystems geleistet werden. Ausgehend von dieser Forschungsarbeit ergeben sich weitere Forschungsthemen, die vereinzelt bereits operationalisiert werden und im Rahmen des Paradigmas ASE die Bereiche des SE – *Systems Engineering* und insbesondere AE – *Advanced Engineering* betreffen.

Im Feld des *Systems Engineering* konnte die Arbeit einen Beitrag zur Verknüpfung von Einflussfaktoren, Methoden und Praktiken zur Beschreibung von Produktentstehungsprozessen leisten. Unter der Nutzung der Zuordnungs- und Auswahlssystematik methodischer Elemente zu Stellgrößen, Handlungsfeldern und Grundprinzipien kann in zukünftigen Arbeiten der *Zusammenhang der Planung von Produktentstehungsprozessen und einer Referenzarchitektur* vertieft werden. Hierzu sollten die methodischen Elemente neben ihrer Bewertung zur Verbesserung von Stellgrößen agiler Fähigkeiten von Handlungssystemen hinsichtlich ihrer Eignung zur reifegradabhängigen Synthese und Analyse technischer Systeme bewertet werden. Diese Bewertung kann in ein übergreifendes Systemmodell integriert werden. Hierdurch lassen sich die Zusammenhänge einer Referenzarchitektur und einer Methodenempfehlung innerhalb dieser Architektur zur Planung und Durchführung von Produktentstehungsprozessen basierend auf Referenzen nutzen¹²³.

Im Feld des *Advanced Engineerings* ergeben sich mehrere mögliche Forschungsthemen basierend auf der vorliegenden Arbeit.

Zunächst lassen sich zur Weiterentwicklung der Vorgehensweise selbst zwei vertiefende Forschungsarbeiten vorschlagen. Zum einen kann der Beitrag der Forschungsarbeit zur *Identifikation und Definition eines anwendungsfallspezifischen Ziellevels an Agilität* analysiert werden. Hierdurch können Bereiche innerhalb des Handlungssystems analysiert und miteinander verknüpft werden, innerhalb derer eine Tendenz zum agilen sowie auf der anderen Seite zum plangetriebenen Arbeiten gegeben ist. Hierzu können die Elemente in der Methodensammlung sowie die zu Grunde liegenden Einflussfaktoren analysiert und bei Bedarf in agil und plange-

¹²³ Zusammenhänge werden u.a. im BMBF-geförderten Projekt MoSyS erforscht.

trieben kategorisiert werden. Außerdem kann auf dieser Basis die Messbarkeit agiler Vorgehensweisen erforscht werden. Zum anderen kann die *Methodik zur situations- und bedarfsgerechten Entwicklung und Einführung einer individuellen agil-strukturierten Prozesslösung in zwei Aktivitäten konkretisiert* werden. Zum einen sollte die methodische Unterstützung in der Generierung von agil-strukturierenden Prozesslösungen basierend auf einem Methodenvorschlag erweitert werden und Anwendenden Muster in der Kombination methodischer Elemente vorgeschlagen werden. Zum anderen sollten der Einführungsprozess und die individuelle Anpassung der Prozesslösung an die Anforderungen im Anwendungsfall weiter erforscht werden. Die Forschungsarbeit liefert hier die Grundlage für den Forschungsantrag *Entwicklung einer Methodik für die agile Entwicklung mechatronischer Systeme* (DFG AZ: AL 533/51-1) der in der ersten Hälfte des Jahres 2022 durch die *Deutschen Forschungsgemeinschaft* bewilligt wurde.

Die Vorgehensweise, die der in der Forschungsarbeit entwickelten Methodik zu Grunde liegt, lässt sich zudem auf weitere *Verbesserungen von Handlungssystemen im ASE – Advanced Systems Engineering übertragen*, die nicht nur aus der Kombination agiler und plangetriebener Prozesselemente resultieren. Vielmehr kann die situations- und bedarfsgerechte Verknüpfung verschiedener Elemente aus dem ASE (z.B. Durchgängigkeit von Daten und Methoden der Vorausschau) mittels der in der Forschungsarbeit vorgestellten Logik erforscht werden.

Zuletzt liefert die Forschungsarbeit einen Beitrag zur Weiterentwicklung der *Kollaboration in Organisationen und Wertschöpfungsnetzwerken moderner Systementwicklung*. So lässt sich zum einen die vorgestellte Vorgehensweise durch entsprechende *Kollaborationsmethoden* sowie weitere Einflussfaktoren nach den in der Arbeit definierten Zuordnungsregeln erweitern. Hierdurch können Wechselwirkungen zwischen flexiblen Aufbauorganisationsstrukturen und flexiblen Arbeitszeitgestaltungen auf operativer Ebene mit agilen und plangetriebenen Prozesselementen identifiziert und hieraus entstehende Herausforderungen erforscht werden¹²⁴. Ein spezifischer Zusammenhang im Bereich der Kollaboration ergibt sich aus der vorliegenden Forschungsarbeit mit dem Themenfeld der *standortverteilten Produktentwicklung*. So lässt sich ein Großteil der identifizierten Methoden und Praktiken in standortverteilten Teams anwenden und die Verbesserung dieser Anwendung

¹²⁴ Eine konkrete Fragestellung aus Gesprächen mit Unternehmensvertretern ergibt sich beispielsweise daraus, dass Entwickler eine freie Arbeitszeitgestaltung in einem breiten Zeitfenster des Arbeitsalltags wahrnehmen (nach üblichen Tarifverträgen 8h in einem Zeitraum zwischen 06:00 und 22:00 Uhr), jedoch agile Events stets mit einem Großteil der Teams stattfinden sollten. Dies prozessual in einer robusten und planbaren Regelmäßigkeit zu vereinbaren, ist nur eine der Herausforderungen moderner Arbeitszeitgestaltung in Kombination mit agiler Entwicklung.

durch eine methodische Einführung weitere erforschen. Darüber hinaus sind Analysen der Einflussfaktoren auf die agilen Fähigkeiten von Organisationseinheiten möglich, deren Ergebnis eine Einschätzung des Einflusses dieser Faktoren auf die Fähigkeiten des Handlungssystems zur standortverteilten Realisierung von Entwicklungsaktivitäten darstellt.

Die angesprochenen Themen stellen eine Auswahl von Impulsen zur Durchführung möglicher weiterer Forschungsarbeiten zur prozessorientierten Weiterentwicklung der KaSPro – Karlsruher Schule der Produktentwicklung sowie des ASE – Advanced Systems Engineering dar. Hierzu konnte mit der vorliegenden Forschungsarbeit eine breite Ausgangsbasis geschaffen werden.

Literaturverzeichnis

- Albers, A. (1997). Vorlesungsfolien zur Vorlesung IP – Integrierte Produktentwicklung. IPEK - Institut für Produktentwicklung am Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Karlsruhe.
- Albers, A. (2010). Five hypotheses about engineering processes and their consequences. In Proceedings of the 8th International Symposium on Tools and Methods of Competitive Engineering, TMCE 2010: Ancona, Italy (TMCE) : 2010.04.12-16. Vol. 1. Ed.: I. Horváth (S. 343–356). Faculty of Industrial Design Engineering.
- Albers, A. (2018). Vorlesungsfolien zur Vorlesung Methoden und Prozesse der PGE - Produktgenerationsentwicklung. IPEK - Institut für Produktentwicklung am Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Karlsruhe.
- Albers, A. (2020). *Vorlesungsfolien zur Vorlesung Methoden und Prozesse der PGE - Produktgenerationsentwicklung*. IPEK - Institut für Produktentwicklung am Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Karlsruhe.
- Albers, A., Basedow, G. N., Heimicke, J., Marthaler, F., Spadinger, M. & Rapp, S. (2020). Developing a common understanding of business models from the product development perspective. *Procedia CIRP*, 91, 875–882. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2020.03.122>
- 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, 16. <https://doi.org/10.1017/dsj.2017.5>
- Albers, A. & Braun, A. (2011). A generalised framework to compass and to support complex product engineering processes. *International journal of product development*, 15(1/2/3), 6. <https://doi.org/10.1504/IJPD.2011.043659>
- Albers, A., Braun, A., Heimicke, J. & Richter, T. (2020). Der Prozess der Produktentstehung. In F. Henning & E. Moeller (Hrsg.), *Handbuch Leichtbau* (S. 1–35). München: Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG. <https://doi.org/10.3139/9783446459847.001>
- Albers, A., Braun, A. & Muschik, S. (2010a). Ein Beitrag zum Verständnis des Aktivitätsbegriffs im System der Produktentstehung. In M. Maurer & S.-O.

- Schulze (Hrsg.), *Tag des Systems-Engineering: München, Freising, 10. - 12. November 2010*. München: Hanser.
- Albers, A., Braun, A. & Muschik, S. (2010b). 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. 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. *International Conference on Engineering Design ICED 05 Melbourne, August 15-18, 2005*.
- 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. Konferenz, Zagreb, Kroatien* (S. 791–800).
- Albers, A., Bursac, N. & Wintergerst, E. (2015a). Product Generation Development – Importance and Challenges from a Design Research Perspective. In Mastorakis, N.E. (Hrsg.), *New developments in mechanics and mechanical engineering : proceedings of the International Conference on Mechanical Engineering (ME 2015), Vienna, Austria, March* (S. 15-17).
- Albers, A., Bursac, N. & Wintergerst, E. (2015b). Produktgenerationsentwicklung - Bedeutung und Herausforderungen aus einer entwicklungsmethodischen Perspektive. In H. Binz (Hrsg.), *Stuttgarter Symposium für Produktentwicklung (SSP) 2015* (S. 1–10). Stuttgart: Fraunhofer IAO, Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO.
- Albers, A., Denkena, B. & Matthiesen, S. (2012). *Faszination Konstruktion – Berufsbild und Tätigkeitsfeld im Wandel: Empfehlungen zur Ausbildung qualifizierter Fachkräfte in Deutschland*. München: acatech - Deutsche Akademie der Technikwissenschaften.
- 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. Verständnis, Zusammenhänge und Auswirkungen in der Produktentwicklung*. In KIT Scientific Working Papers (Bd. 149). Karlsruhe: KITopen. <https://doi.org/10.5445/IR/1000127971>
- Albers, A. & Gausemeier, J. (2012). Von der fachdisziplinatorientierten Produktentwicklung zur vorausschauenden und systemorientierten Produktentstehung. In R. Anderl, M. Eigner, U. Sandler & R. Stark (Hrsg.), *Smart Engineering: Interdisziplinäre Produktentstehung* (S. 17–29). Berlin: Springer.
- Albers, A., Heimicke, J., Hirschter, 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 *DS 91: Proceedings of NordDesign 2018*, Linköping, Sweden. 14.–17. August 2018
- Albers, A., Heimicke, J., Müller, J. & Spadinger, M. (2019). Agility and its Features in Mechatronic System Development: A Systematic Literature Review. In 30th ISPIIM Innovation Conference, Forence, I, June 16-19, 2019, n.p..
- Albers, A., Heimicke, J., Spadinger, M., Reiss, N., Breitschuh, J., Richter, T., Bursac, N. & Marthaler, F. (2019a). A systematic approach to situation-adequate mechatronic system development by ASD - Agile Systems Design. *Procedia CIRP*, 84, 1015–1022. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2019.03.312>
- Albers, A., Heimicke, J., Spadinger, M., Reiss, N., Breitschuh, J., Richter, T., Bursac, N. & Marthaler, F. (2019b). Eine Systematik zur situationsadäquaten Mechatroniksystementwicklung durch ASD – Agile Systems Design. In *KIT Scientific Working Papers* (Bd. 113). Karlsruhe: KITopen. <https://doi.org/10.5445/IR/1000091847>
- 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 *Balancing Innovation and operation*, 12th - 14th August 2020, n.p. The Design Society. <https://doi.org/10.35199/NORDDESIGN2020.22>
- 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 *Procedia 30th CIRP Design Conference*, 91, 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. *Procedia CIRP*, 70, 253–258. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2018.02.044>
- Albers, A., Hirschter, T., Fahl, J., Woehrle, G., Reinemann, J. & Rapp, S. (2020). Generic Reference Product Model for Specifying Complex Products by the Example of the Automotive Industry. In I. Horváth & G. N. Keenaghan (Hrsg.), *TMCE, Digital Proceedings of TMCE 2020* (S. 353–370). Delft University of Technology.
- Albers, A., Kürten, C., Rapp, S., Birk, C., Hünemeyer, S., Kempf, C. (2022). *SGE – Systemgenerationsentwicklung : Analyse und Zusammenhänge von Entwicklungspfaden in der Produktentstehung*. In KIT Scientific Working Papers (Bd. 199). Karlsruhe: KITopen. <https://doi.org/10.5445/IR/1000151151>
- Albers, A. & Lohmeyer, Q. (2012). Advanced Systems Engineering - Towards a Model-Based and Human-Centred Methodology. In Horváth, Rusák, A. Albers & M. Behrendt (Vorsitz), *9th International Symposium on Tools and*

- Methods of Competitive Engineering*, Karlsruhe, 07. - 11.05.2012. 2 Bände. Delft University of Technology, Netherlands und KIT, Germany (1,2).
- Albers, A., Lohmeyer, Q. & Ebel, B. (2011). Dimensions of objectives in interdisciplinary product development projects. In S. J. Culley, B. J. Hicks, T. C. McAlloone, T. J. Howard & U. Lindemann (Hrsg.), *Proceedings of the 18th International Conference on Engineering Design (ICED) 2011: Impacting society through engineering design*. Konferenz, Lyngby/Copenhagen, Dänemark 15.-19.08.2011 (S. 256–265).
- Albers, A., Mandel, C., Yan, S. & Behrendt, M. (2018). System of Systems Approach for the Description and Characterization of Validation Environments. In *Design Conference Proceedings, Proceedings of the DESIGN 2018 15th International Design Conference* (S. 2799–2810). Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture, University of Zagreb, Croatia; The Design Society, Glasgow, UK.
<https://doi.org/10.21278/idc.2018.0460>
- Albers, A., Matthiesen, S. & Ott, S. (2019). *Strukturiert und agil zu modularen, leichten Antriebskomponenten für effiziente Antriebe* In IPEK Inside (2019) 1, 11.
- Albers, A. & Meboldt, M. (2007). IPEMM - Integrated Product Development Process Management Model, Based On Systems Engineering and Systematic Problem Solving. In J. C. Bocquet (Vorsitz), *Design 2007*. Symposium im Rahmen der Tagung von International Conference on Engineering Design; Design Society; ICED, Paris, 28.-31.07.2007.
- Albers, A., Rapp, S., Birk, C. & Bursac, N. (2017). Die Frühe Phase der PGE – Produktgenerationsentwicklung. In *Stuttgarter Symposium für Produktentwicklung SSP 2017: Stuttgart, 29. Juni 2017, Wissenschaftliche Konferenz*. Stuttgart: Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO.
- Albers, A., Rapp, S., Peglow, N., Stürmlinger, T., Heimicke, J., Wattenberg, F. & Wessels, H. (2019). Variations as Activity Patterns: A Basis for Project Planning in PGE – Product Generation Engineering. *Procedia 29th CIRP Design Conference*, 84, 966-972. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2019.04.314>
- Albers, A., Rapp, S., Spadinger, M., Richter, T., Birk, C., Marthaler, F., Heimicke, J., Kurtz, V. & Wessels, H. (2019). *Das Referenzsystem im Modell der PGE – Produktgenerationsentwicklung: Vorschlag einer generalisierten Beschreibung von Referenzprodukten und ihrer Wechselbeziehungen*. KIT Scientific Working Papers: Bd. 96. Karlsruher Institut für Technologie (KIT).
<https://publikationen.bibliothek.kit.edu/1000093227>
- Albers, A., Reiß, N., Bursac, N. & Breitschuh, J. (2016). 15 Years of SPALTEN Problem Solving Methodology in Product Development. In C. Boks (Hrsg.),

- Proceedings of NordDesign 2016: August 10-12, 2016, Trondheim, Norway* (S. 411–420). The Design Society.
- Albers, A., Reiß, N., Bursac, N. & Richter, T. (2016). iPeM – Integrated Product Engineering Model in Context of Product Generation Engineering. *Procedia CIRP*, 50, 100–105. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.04.168>
- Albers, A., Reiß, N., Bursac, N., Schwarz, L. & Lüdcke, R. (Hrsg.) (2013). *Modelling Technique for Knowledge Management, Process Management and Method application – A Formula Student exploratory study: Proceedings of the 3rd International Conference on Modelling and Management of Engineering Processes*, 151–162.
- Albers, A., Reiß, N., Bursac, N., Urbanec, J. & Lüdcke, R. (2014). Situation-appropriate method selection in product development process – empirical study of method application. *Proceedings of NordDesign 2014 Conference*, Espoo, Finland, 27. - 29. August, 2014, 550–559.
- Albers, A., Sadowski, E. & Marxen, L. (2011). A new Perspective on Product Engineering – Overcoming Sequential Process Models. In Birkhofer H. (Hrsg.) *The Future of Design Methodology*, London: Springer ,199-209.
- Anderl, R., Eigner, M., Sendler, U. & Stark, R. (Hrsg.). (2012). *Smart Engineering: Interdisziplinäre Produktentstehung*. Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-29372-6>
- Atkinson, R. (1999). Project management: cost, time and quality, two best guesses and a phenomenon, its time to accept other success criteria. *International Journal of Project Management*, 17(6), 337–342. [https://doi.org/10.1016/S0263-7863\(98\)00069-6](https://doi.org/10.1016/S0263-7863(98)00069-6)
- Atzberger, A., Nicklas, S. J., Schrof, J., Weiss, S. & Paetzold, K. (2020). *Agile Entwicklung physischer Produkte: Eine Studie zum aktuellen Stand in der industriellen Praxis*, Universität der Bundeswehr München, Neubiberg. https://doi.org/10.18726/2020_5
- Atzberger, A. & Paetzold, K. (2019). Current Challenges of Agile Hardware Development: What are Still the Pain Points Nowadays? In The Design Society (Hrsg.), *Proceedings of the Design Society: International Conference on Engineering Design* (1. Aufl., Bd. 1, S. 2209–2218). Cambridge: Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/dsi.2019.227>
- Atzberger, A., Wallisch, A., Nicklas, S. & Paetzold, K. (2020). Antagonizing Ambiguity – Towards a Taxonomy for Agile Development. *Procedia CIRP*, 91, 464–471. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2020.02.200>
- Avantgarde Experts. (2020). *Projektmanagement-Methoden im Vergleich: Erklärungen & Tipps*. Online verfügbar unter <https://www.avantgarde-experts.de/de/magazin/projektmanagement-methoden-im-vergleich->

erklärungen-tipps/, zuletzt aktualisiert am 20.10.2021, zuletzt geprüft am 20.10.2021.

- Blessing, L. T. & Chakrabarti, A. (2009). *DRM, a Design Research Methodology*. London: Springer. <http://dx.doi.org/10.1007/978-1-84882-587-1>
- Boehm, B. & Turner, R. (2003a). Observations on balancing discipline and agility. In *Proceedings of the Agile Development Conference, 2003. ADC 2003* (S. 32–39). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ADC.2003.1231450>
- Boehm, B. & Turner, R. (2003b). Using risk to balance agile and plan- driven methods. *Computer*, 36(6), 57–66. <https://doi.org/10.1109/MC.2003.1204376>
- Boehm, B. & Turner, R. (2005). Management Challenges to Implementing Agile Processes in Traditional Development Organizations. *IEEE Software*, 22(5), 30–39. <http://www.automotivespice.com/>
- Bowley, R. (2020). *Start, Stop, Continue, More of, Less of Wheel - Agile Retrospective Resource Wiki*. Online verfügbar unter https://retrospectivewiki.org/index.php?title=Start,_Stop,_Continue,_More_of,_Less_of_Wheel, zuletzt aktualisiert am 22.12.2020, zuletzt geprüft am 15.09.2021.
- 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 *DS 91: Proceedings of NordDesign 2018*, Linköping, Sweden, 14th - 17th August 2018.
- Brown, T. & Wyatt, J. (2010). Design Thinking for Social Innovation. *Development Outreach*, 12(1), 29–43. https://doi.org/10.1596/1020-797X_12_1_29
- 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>
- Cohen, J. (2013). *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences*. (2. Aufl.) ISBN: 9781483276489. Burlington: Elsevier Science.
- Conforto, E. C., Amaral, D. C., da Silva, S. L., Di Felippo, A. & Kamikawachi, D. S. L. (2016). The agility construct on project management

- theory. *International Journal of Project Management*, 34(4), 660–674.
<https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2016.01.007>
- Conforto, E. C., Salum, F., Amaral, D. C., da Silva, S. L. & Almeida, L. F. M. de (2014). Can Agile Project Management be Adopted by Industries Other than Software Development? *Project Management Journal*, 45(3), 21–34.
<https://doi.org/10.1002/pmj.21410>
- Cooper, R. G. (1990). Stage-Gate Systems: A New Tool for Managing New Products. *Business horizons*, 33(3), 44–54.
- Cooper, R. G. (1994). Third-Generation New Product Processes. *Journal of Product Innovation Management*, 11(1), 3–14. <https://doi.org/10.1111/1540-5885.1110003>
- Cooper, R. G. (2014). What's Next? After Stage-Gate. *Research-Technology Management*, 57(1), 20–31. <https://doi.org/10.5437/08956308X5606963>
- Cooper, R. G. & Kleinschmidt, E. J. (1987). Success factors in product innovation. *Industrial Marketing Management*, 16(3), 215–223.
- Cooper, R. G. & Sommer, A. F. (2016). Agile-Stage-Gate: New idea-to-launch method for manufactured new products is faster, more responsive. *Industrial Marketing Management*, 59, 167–180.
<https://doi.org/10.1016/J.INDMARMAN.2016.10.006>
- Cooper, R. G. & Sommer, A. F. (2018). Agile–Stage-Gate for Manufacturers. *Research-Technology Management*, 61(2), 17–26.
<https://doi.org/10.1080/08956308.2018.1421380>
- Coskun Samli, A. & Weber, J. A. E. (2000). A theory of successful product breakthrough management: learning from success. *Journal of Product & Brand Management*, 9(1), 35–55.
<https://doi.org/10.1108/10610420010316320>
- Crossan, M. M. & Apaydin, M. (2010). A Multi-Dimensional Framework of Organizational Innovation: A Systematic Review of the Literature. *Journal of Management Studies*, 47(6), 1154–1191. <https://doi.org/10.1111/j.1467-6486.2009.00880.x>
- Dalbudak, E., Guemhioui, K. E., Lakhssassi, A. & Gravel, R. (2021). Methodologyassessment Framework (MAF). *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*, 10(99), 2473–2494.
- Delligatti, L. (2014). *SysML distilled: A brief guide to the systems modeling language*. Upper Saddle River, NJ; Munich et al. : Addison-Wesley.
- Denning, S. (2020). Why And How Volvo Embraces Agile At Scale. In: Forbes, 26.01.2020. Online verfügbar unter

<https://www.forbes.com/sites/stevedenning/2020/01/26/how-volvo-embraces-agile-at-scale/?sh=7a1a5364cf0e>, zuletzt geprüft am 05.11.2021.

Design Thinking-Prozess - Design Thinking - Hasso-Plattner-Institut. (2021).

Online verfügbar unter <https://hpi.de/school-of-design-thinking/design-thinking/hintergrund/design-thinking-prozess.html>, zuletzt aktualisiert am 01.11.2021, zuletzt geprüft am 01.11.2021.

Diebold, P. (2020). *Agile Practice Experience Repository for Process Improvement* Dissertation - Experimental Software Engineering, 65. TU Kaiserslautern.

Diebold, P., Küpper, S. & Zehler, T. (2015). Nachhaltige Agile Transition: Symbiose von technischer und kultureller Agilität. In M. Engstler, M. Fazal-Baqaie, E. Hanser, M. Mikusz & A. Volland (Hrsg.), *Projektmanagement und Vorgehensmodelle 2015* (S. 121–126). Bonn: Gesellschaft für Informatik e.V.

digital.ai. (2020). *14th Annual State of Agile Report*. Online verfügbar unter <https://explore.digital.ai/state-of-agile/14th-annual-state-of-agile-report>. zuletzt geprüft am 05.11.2021.

digital.ai. (2021). *14th Annual State of Agile Report Shows 60% of Respondents Have Increased Speed to Market and 55% Are Planning to Implement Value Stream Management | CollabNet VersionOne*. Online verfügbar unter <https://www.collab.net/news/press/14th-annual-state-agile-report-shows-60-respondents-have-increased-speed-market-and-55>, zuletzt aktualisiert am 16.10.2021, zuletzt geprüft am 05.11.2021.

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, 87–108. <https://doi.org/10.1016/j.jss.2016.06.013>

DIN. *Qualitätsmanagementsysteme_ - Grundlagen und Begriffe (ISO_9000:2015); Deutsche und Englische Fassung EN_ISO_9000:2015 (DIN EN ISO 9000:2015-11)*. Berlin. Beuth Verlag GmbH.

Dingsøyr, T., Fægri, T. E. & Itkonen, J. (2014). What Is Large in Large-Scale? A Taxonomy of Scale for Agile Software Development. In A. Jedlitschka, P. Kuvaja, M. Kuhrmann, T. Männistö, J. Münch & M. Raatikainen (Hrsg.), *Lecture Notes in Computer Science: Bd. 8892. Product-Focused Software Process Improvement* (Bd. 8892, S. 273–276). Cham: Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-13835-0_20

Dostert, E., Hagen, H. von der, Fromm, T., Hägler, M., Kunkel, C. & Mayr, S. e. a. (2020). *Corona-Epidemie - Wenn die Unterwäsche-Firma plötzlich Schutzmasken näht*. Online verfügbar unter

- <https://www.tagesschau.de/inland/desinfektionsmittel-corona-101.html>, zuletzt geprüft am 06.07.2020.
- Dumitrescu, R., Albers, A., Riedel, O., Stark, R. & Gausemeier, J. (2021). *Engineering in Deutschland – Status quo in Wirtschaft und Wissenschaft: Ein Beitrag zum Advanced Systems Engineering*. Paderborn: Fraunhofer IEM.
- Dutke, S. (1994). *Mentale Modelle: Konstrukte des Wissens und Verstehens. Kognitionspsychologische Grundlagen für die Software-Ergonomie*. ISBN: 3-87844-111-8. Göttingen: Verlag für angewandte Psychologie.
- Dybå, T. & Dingsøyr, T. (2008). Empirical studies of agile software development: A systematic review. *Information and Software Technology*, 50(9-10), 833–859. <https://doi.org/10.1016/j.infsof.2008.01.006>
- Ebert, C. & Paasivaara, M. (2017). Scaling Agile. *IEEE Software*, 34(6), 98–103. <https://doi.org/10.1109/MS.2017.4121226>
- Edrawsoft. (2021). *Editable Impact Effort Matrix Templates*. Online verfügbar unter <https://www.edrawsoft.com/impact-effort-matrix-templates.html>, zuletzt aktualisiert am 15.09.2021, zuletzt geprüft am 15.09.2021.
- Eklund, U. & Berger, C. (2017). Scaling agile development in mechatronic organizations - a comparative case study. In 2017 *IEEE/ACM 39th International Conference on Software Engineering: Software Engineering in Practice Track (ICSE-SEIP)*, Buenos Aires, Argentina 20.–28. Mai (S. 173–182). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICSE-SEIP.2017.25>
- Ellis, P. D. (2017). *The essential guide to effect sizes: Sattistical power, meta-analysis and the interpretation of research results* (11th printing). Cambridge: Cambridge University Press.
- Fahl, J. (2022). *Produktportfolio-übergreifendes Spezifizieren von Produktfunktionen der Sportwagenentwicklung im Modell der PGE – Produktgenerationsentwicklung*. Dissertation. In A. Albers & S. Matthiesen (Hrsg.), *Forschungsberichte des IPEK - Institut für Produktentwicklung. Systeme, Methoden, Prozesse* (Bd. 147). Karlsruhe: Karlsruher Institut für Technologie (KIT). <https://doi.org/10.5445/IR/1000143818>
- Feldhusen, J. & Grote, K.-H. (Hrsg.). (2013). *Pahl/Beitz Konstruktionslehre: Methoden und Anwendung erfolgreicher Produktentwicklung* (8., vollständig überarbeitete Auflage). Heidelberg: Springer Vieweg. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-29569-0>
- Feldmuller, D. (2018). Usage of agile practices in Mechatronics System Design Potentials, Challenges and Actual Surveys. In 2018 19th *International Conference on Research and Education in Mechatronics (REM)*. Delft,

- Netherlands 7.–8. Juni (S. 30–35). IEEE.
<https://doi.org/10.1109/REM.2018.8421803>
- Fink, A. & Siebe, A. (2016). *Szenario-Management: Von strategischem Vorausdenken zu zukunftsrobusten Entscheidungen*. Frankfurt/Main: Campus Verlag,.
- Foster, R. N. (1986). *Innovation: Die technologische Offensive*. (1. Aufl.) Wiesbaden: Gabler Verlag. <https://doi.org/10.1007/978-3-322-83742-4>
- Fowler, M. & Highsmith, J. (2001). The Agile Manifesto. *Softw. Dev.* 9, 28–35.
- Gadatsch, A., Komus, A. & vom Brocke, J. (2018). *3 x 2 aktuelle Impulse zum Prozess- und IT-Management*. Process and Project, Hörh-Grenzhausen.
- Garcia, R. & Calatone, R. (2002). A critical look at technological innovation typology and innovativeness terminology: a literature review. *Journal of Product Innovation Management*, 19(2), 110–132.
[https://doi.org/10.1016/S0737-6782\(01\)00132-1](https://doi.org/10.1016/S0737-6782(01)00132-1)
- Gericke, K. & Blessing, L. T. (2011). Comparisons of design methodologies and process models across disciplines: A literature review. In The Design Society (Hrsg.), *DS / Design Society: Bd. 68. Proceedings of the 18th International Conference on Engineering Design* (S. 393–404). Glasgow: Design Society.
- Gericke, K., Eckert, C. M. & Stacey, M. K. (2017). What do we Need to Say about a Design Method? *21ST International Conference on Engineering Design, ICED17*. Vancouver, Canada 21-25 August 2017.
- Gericke, K., Meißner, M. & Paetzold, K. (2013). Understanding the context of product development. In U. Lindemann, S. Venkataraman, Y. S. Kim & S. W. Lee (Hrsg.), *Proceedings of ICED 13* (S. 191–200). Glasgow: Design Society.
- Gloger, B. (2017). In Zukunft untrennbar: Agile Produktentwicklung und Design Thinking. In W. Jochmann, I. Böckenholt & S. Diestel (Hrsg.), *HR-Exzellenz* (S. 151–164). Wiesbaden: Springer Fachmedien. https://doi.org/10.1007/978-3-658-14725-9_9
- Goevert, K., Heimicke, J., Lindemann, U. & Albers, A. (2019). Interview Study on the Agile Development of Mechatronic Systems. In The Design Society (Hrsg.), *Proceedings of the Design Society: International Conference on Engineering Design* (1. Aufl., Bd. 1, S. 2287–2296). Cambridge: Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/dsi.2019.235>
- Gregory, P., Barroca, L., Taylor, K., Salah, D. & Sharp, H. (2015). Agile Challenges in Practice: A Thematic Analysis. In C. Lassenius, T. Dingsøyr & M. Paasivaara (Hrsg.), *Lecture Notes in Business Information Processing. Agile Processes in Software Engineering and Extreme Programming* (Bd.

- 212, S. 64–80). Cham: Springer International Publishing.
https://doi.org/10.1007/978-3-319-18612-2_6
- The Greystones Guide. (2020). *The Greystones Guide | Putting Greystones To The Test*. Online verfügbar unter <https://www.greystonesguide.ie/putting-greystones-to-the-test/>, zuletzt aktualisiert am 29.08.2020, zuletzt geprüft am 26.09.2021.
- Gunasekaran, A. (1999). Agile manufacturing: A framework for research and development. *International Journal of Production Economics*, 62(1-2), 87–105. [https://doi.org/10.1016/S0925-5273\(98\)00222-9](https://doi.org/10.1016/S0925-5273(98)00222-9)
- Hales, C. & Gooch, S. (2004). *Managing Engineering Design* (2. Aufl.). London: Springer. <https://doi.org/10.1007/978-0-85729-394-7>
- Hannan, M. T. & Freeman, J. (1984). Structural Inertia and Organizational Change. *American Sociological Review*, 49(2), 149. <https://doi.org/10.2307/2095567>
- Heikkilä, V. T., Paasivaara, M. & Lassenius, C. (2016). Teaching university students Kanban with a collaborative board game. In L. Dillon, W. Visser & L. Williams (Hrsg.), *Proceedings of the 38th International Conference on Software Engineering Companion* (S. 471–480). New York NY United States: Association for Computing Machinery.
<https://doi.org/10.1145/2889160.2889201>
- Heimicke, J., Bramato, L., Schöck, M., Müller, J. & Albers, A. (2021). Framework for Introducing Agility into Development Processes of Producing Companies. In The International Society for Professional Innovation Management (Hrsg.), *ISPIM Connects Valencia 2021: Reconnect, Rediscover & Reimagine* Valencia 29.11.2021 - 01.12.2021, (n.p.).
- Heimicke, J., Czech, C., Müller, J., Schöck, M. & Albers, A. (2022). A Methodology for Measuring the Success of Implementing Agility into Processes of Physical Product Development. In The Design Society (Hrsg.), *Design Conference Proceedings, Proceedings of the DESIGN 2022 17th International Design Conference*. Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture, University of Zagreb, Croatia; Glasgow: The Design Society (in Druck).
- Heimicke, J., Duehr, K., Krüger, M., Ng, G.-L. & Albers, A. (2021). A framework for generating agile methods for product development. *Procedia CIRP*, 100, 786–791. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2021.05.043>
- Heimicke, J., Kaiser, S. & Albers, A. (2021). Agile Product Development: An Analysis of Acceptance and Added Value in Practice. *Procedia CIRP*, 100, 768–773. <https://doi.org/10.5445/IR/1000134118>
- Heimicke, J., Kaiser, K., Albers, A., Frei, C., Muschik, S., Birk, C. & Bursac, N. (2019). ASD – Agile Systems Design in Modular Design: Operationalization of agile Principles for cross-platform Agile-Boards. In *41st R&D Management*

Conference 2019 “The Innovation Challenge: Bridging Research, Industry and Society”. Paris, 19.-21. Juni. (n.p.).

- Heimicke, J., Mellert, T. & Albers, A. (2020). Performance Evaluation of Agility in Product Development using targeted KPIs. In I. Bitran, S. Conn, C. Gernreich, M. Heber, K. Huizingh & M. Torkkeli (Hrsg.), *ISPIM Connects Global 2020: Celebrating the World of Innovation*. Online Konferenz, 07. – 08. Dezember (n.p.)
- Heimicke, J., Ng, G.-L., Krüger, M. & Albers, A. (2021). A systematic for realizing agile principles in the process of mechatronic systems development through individual selection of suitable process models, methods and practices. *Procedia CIRP*, 100, 619–624. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2021.05.133>
- 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. *Proceedings of the Design Society: International Conference on Engineering Design*, 1(1), 2199–2208. <https://doi.org/10.1017/dsi.2019.226>
- Heimicke, J., Pfau, S., Vetten, L. & Albers, A. (2021). Entwicklung einer agil-strukturierten Prozesslösung mittels ASD – Agile Systems Design für das technische Änderungsmanagement im After Sales eines OEM der Automobilindustrie. In R. H. Steltzer & J. Krzywinski (Hrsg.), *Entwerfen Entwickeln Erleben - EEE2021. Dresden, 17. - 18.06.2021* (S. 255–270). Dresden: TUDpress.
- Heimicke, J., Reiss, N., Albers, A., Walter, B., Breitschuh, J., Knoche, S. & Bursac, N. (2018). Agile Innovative Impulses in the Product Generation Engineering: Creativity by Intentional Forgetting. *Proceedings of 5th International Conference on Design Creativity (ICDC 2018)* (8), 183-190.
- Heimicke, J., Reuter, Y., Müller, J., Grau, A., Sebastian, H. & Albers, A. (2021). Introducing Agility into Strategic Value Management of an OEM. In The International Society for Professional Innovation Management (Hrsg.), *ISPIM Connects Valencia 2021: Reconnect, Rediscover & Reimagine* Valencia. 29.11.2021 - 01.12.2021. (n.p.).
- Heimicke, J., Roebenack, S., Frobieter, C., Tihlarik, A., Albert, B., Bramato, L., Mandel, C., Behrendt, M. & Albers, A. (2021). Evaluation of Challenges in the Implementation of Scrum in a large German Plant Engineering Company: Derivation of Hypotheses for an Improved Introduction of Agile Approaches into the Processes of Physical Product Development. In *R&D Management Conference 2021 - Innovation in an Era of Disruption* Online Konferenz, 07.-08. Juli 2021 (n.p.).
- Heimicke, J., Rösel, T. & Albers, A. (2021). Analyse des Einflusses von Faktoren auf die agilen Fähigkeiten von Organisationseinheiten in der Entwicklung physischer Systeme. In R. H. Steltzer & J. Krzywinski (Hrsg.), *Entwerfen*

- Entwickeln Erleben - EEE2021. Dresden, 17. - 18.06.2021* (S. 691–702). Dresden: TUDpress.
- Heimicke, J., Spadinger, M. & Li, Xiang, Albers, Albert (2020). Potentials and Challenges in the Harmonization of Approaches for agile Product Development and Automotive SPICE. *Proceedings of 8th Transport Research Arena TRA 2020, April 27-30, 2020, Helsinki, Finland*, (n.p.).
- Heimicke, J., Spahic, A., Bramato, L. & Albers, A. (2021). Ermittlung von Anforderungen an eine Anwendungsfall-Spezifische Einführung Agiler Ansätze – Erkenntnisse aus der Anwendung des Agile-Stage-Gate Hybrids. In R. H. Steltzer & J. Krzywinski (Hrsg.), *Entwerfen Entwickeln Erleben - EEE2021. Dresden, 17. - 18.06.2021* (S. 633–644). Dresden: TUDpress.
- 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.
- Hohl, P., Ghofrani, J., Münch, J., Stupperich, M. & Schneider, K. (2017). Searching for common ground: existing literature on automotive agile software product lines. In *Proceedings of the 2017 International Conference on Software and System Process - ICSSP 2017* (S. 70–79). New York NY United States: Association for Computing Machinery.
<https://doi.org/10.1145/3084100.3084109>
- Hölzing, J. A. (2008). *Die Kano-Theorie der Kundenzufriedenheitsmessung: Eine theoretische und empirische Überprüfung*. Zugl.: Mannheim, Univ., Diss., 2007 (1. Aufl.). Gabler Edition Wissenschaft. Wiesbaden: Gabler.
<https://doi.org/10.1007/978-3-8349-9864-4>
- Ili, S. (2009). *Open Innovation im Kontext der Integrierten Produktentwicklung: Strategien zur Steigerung der FuE-Produktivität*. Dissertation. In A. Albers & S. Matthiesen (Hrsg.), *Forschungsberichte des IPEK - Institut für Produktentwicklung. Systeme, Methoden, Prozesse* (Bd. 33). Karlsruhe: Karlsruher Institut für Technologie (KIT).
<https://doi.org/10.5445/IR/1000013586>
- Ilin, I., Lepekhin, A., Levina, A. & Iliashenko, O. (2018). Analysis of Factors, Defining Software Development Approach. In V. Murgul & Z. Popovic (Hrsg.), *Advances in Intelligent Systems and Computing: Bd. 692. International Scientific Conference Energy Management of Municipal Transportation Facilities and Transport EMMFT 2017* (Bd. 692, S. 1306–1314). Cham: Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-70987-1_138
- INCOSE. (2015). *systems engineering handbook: A guide for system life cycle processes and activities* (4. ed.). Hoboken: Wiley.
- Isaksson, O., Eckert, C. M., Borgue, O., Hallstedt, S. I., Hein, A. M., Gericke, K., Panarotto, M., Reich, Y. & Öhrwall Rönnbäck, A. B. (2019). Perspectives on Innovation: The Role of Engineering Design. *Proceedings of the Design*

- Society: *International Conference on Engineering Design*, 1(1), 1235–1244.
<https://doi.org/10.1017/dsi.2019.129>
- ISO/IEC/IEEE. *ISO/IEC/IEEE 26262:2018(E) – Road vehicles – Functional safety* (ISO/IEC/IEEE 26262).
- ISO/IEC/IEEE. *ISO/IEC/IEEE 15288:2015(E) – System and software engineering – Systems life cycle processes* (ISO/IEC/IEEE 15288).
- ISO/IEC/IEEE 21839:2019: *Systems and software engineering. System of systems (SoS) considerations in life cycle stages of a system* (ISO/IEC/IEEE 21839).
- Johne, F. A. & Snelson, P. A. (1988). Success Factors in Product Innovation: A Selective Review of the Literature. *Journal of Product Innovation Management*, 5(2), 114–128. <https://doi.org/10.1111/1540-5885.520114>
- Kano, N. (1968). Concept of TQC and its Introduction. *Kuei*, 35(4), 20–29.
- 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), 36–45.
<https://doi.org/10.1080/10429247.2003.11415214>
- Keller, A., Rössle, A., Sheik, R., Thell, H. & Westmark, F. (2019). *Issues with Scrum-of-Scrums: Investigating factors of failure compared to Daily Stand-up*. Institutionen för Teknikens ekonomi och organisation, Göteborg, Schweden: Chalmers Tekniska Högskola.
- Kirchner, F. & Michaëlis, C. (1907). *Wörterbuch der Philosophischen Grundbegriffe*. (5. Aufl.) Leipzig: Verlag der Dürr'schen Buchhandlung.
- Kitchenham, B., Pearl Brereton, O., Budgen, D., Turner, M., Bailey, J. & Linkman, S. (2009). Systematic literature reviews in software engineering – A Systematic literature review. *Information and Software Technology*, 51(1), 7–15. <https://doi.org/10.1016/j.infsof.2008.09.009>
- Kotler, P., Keller, K. L. & Opresnik, M. O. (2017). *Marketing-Management: Konzepte - Instrumente - Unternehmensfallstudien* (15., aktualisierte Auflage). Hallbergmoos: Pearson.
- Kusay-Merkle, U. (2018). *Agiles Projektmanagement im Berufsalltag: Für mittlere und kleine Projekte* (1. Aufl. 2018). Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Kuusinen, K., Gregory, P., Sharp, H. & Barroca, L. (2016). Strategies for doing Agile in a non-Agile Environment. In *ESEM 2016, 8-9 Sep 2016, Ciudad Spain*, New York NY United States: Association for Computing Machinery.
- Larmann, C. & Vodde, B. (2010). *Practices for Scaling Lean & Agile Development: Large, Multisite, and Offshore Product Development with Large-Scale Scrum (Agile Software Development Series)*. London: Pearson Education.

- Lenhardt, S. (2020). *Desinfektionsmittel-Produktion: Eine saubere Sache*. Online verfügbar unter <https://www.tagesschau.de/inland/desinfektionsmittel-corona-101.html>, zuletzt geprüft am 06.07.2020.
- Lenzner, T., Neuert, C. & Otto, W. (2015). *Kognitives Pretesting*. Mannheim, GESIS – Leibniz-Institut für Sozialwissenschaften (GESIS Survey Guidelines) https://doi.org/10.15465/gesis-sg_010
- Lindemann, U. (2009). *Methodische Entwicklung technischer Produkte: Methoden flexibel und situationsgerecht anwenden*. VDI-Buch. Heidelberg: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Lindemann, U. (Hrsg.). (2016). *Handbuch Produktentwicklung*. München: Hanser. <http://dx.doi.org/10.3139/9783446445819>
- 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>
- Mandel, C., Böning, J., Behrendt, M. & Albers, A. (2021). A Model-Based Systems Engineering Approach to Support Continuous Validation in PGE - Product Generation Engineering. In IEEE (Hrsg.), *Proceedings of International Symposium on Systems Engineering (ISSE)* (262-269). Piscataway Township, New Jersey, Vereinigte Staaten: IEEE
- 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>
- Mayring, P. & Fenzl, T. (2019). Qualitative Inhaltsanalyse. In N. Baur & J. Blasius (Hrsg.), *Handbuch Methoden der empirischen Sozialforschung* (S. 633–648). Wiesbaden: Springer Fachmedien. https://doi.org/10.1007/978-3-658-21308-4_42
- Meboldt, M. (2009). *Mentale und formale Modellbildung in der Produktentstehung – als Beitrag zum integrierten Produktentstehungs-Modell (iPeM)*. Dissertation. In A. Albers & S. Matthiesen (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>

- Moe, N. B., Dingsøyr, T. & Dybå, T. (2010). A teamwork model for understanding an agile team: A case study of a Scrum project. *Information and Software Technology*, 52(5), 480–491. <https://doi.org/10.1016/j.infsof.2009.11.004>
- Mont, O. (2002). Clarifying the concept of product–service system. *Journal of Cleaner Production*, 10(3), 237–245. [https://doi.org/10.1016/S0959-6526\(01\)00039-7](https://doi.org/10.1016/S0959-6526(01)00039-7)
- Moreira, M. E. (2013). *Being Agile: Your Roadmap to Successful Adoption of Agile*. Apress; ISBN: 9781430258391. New York City: Apress.
- Muschik, S. (2011). Development of Systems of Objectives in Early Product Engineering, Entwicklung von Zielsystemen in der frühen Produktentstehung. Dissertation. In A. Albers & S. Matthiesen (Hrsg.), *Forschungsberichte des IPEK - Institut für Produktentwicklung. Systeme, Methoden, Prozesse* (Bd. 50). Karlsruhe: Karlsruher Institut für Technologie (KIT). <https://doi.org/10.5445/IR/1000023768>
- NASA. (1968). *Phased Project Planning Guidelines: NHB 7121.2*. Washington D.C.: National Aeronautics And Space Administration
- NextLevels. (2020). *Startseite*. Online verfügbar unter <https://heldenundmentoren.de/>, zuletzt aktualisiert am 30.10.2020, zuletzt geprüft am 30.10.2020.
- Niederman, F., Lechler, T. & Petit, Y. (2018). A Research Agenda for Extending Agile Practices In Software Development and Additional Task Domains. *Project Management Journal*, 49(6), 3–17. <https://doi.org/10.1177/8756972818802713>
- Noweski, N., Böckmann, O. & Meinel, C. (2009). The genesis of a comprehensive design thinking solution. In The Design Society (Hrsg.), *DS 58-7: Proceedings of ICED 09, the 17th International Conference on Engineering Design*, Vol. 7 Palo Alto, CA, USA, 24.-27.08.2009 (S. 229–240).
- Oestereich, B. & Weiss, C. (2008). *Agiles Projektmanagement: APM ; erfolgreiches timeboxing für IT-Projekte* (1. Aufl.). Heidelberg: dpunkt-Verl.
- Ovesen, N. (2012). *The Challenges of becoming agile: Implementing and Conducting Scrum in Integrated PRODUCT DEVELOPMENT* [PhD Thesis], Aalborg University.
- Paasivaara, M., Lassenius, C. & Heikkilä, V. T. (2012). Inter-team coordination in large-scale globally distributed scrum. In P. Runeson, M. Höst, E. Mendes, A. Andrews & R. Harrison (Hrsg.), *Proceedings of the ACM-IEEE international symposium on Empirical software engineering and measurement - ESEM '12*

- (S. 235). New York NY United States: Association for Computing Machinery.
<https://doi.org/10.1145/2372251.2372294>
- Pahl, G. & Beitz, W. (1977). Konstruktionslehre: Handbuch für Studium und Praxis (1. Aufl.). Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Pahl, G., Beitz, W., Feldhusen, J. & Grote, K.-H. (2007). *Konstruktionslehre Grundlagen erfolgreicher Produktentwicklung. Methoden und Anwendung*. Heidelberg: Springer-Verlag.
- Petersen, K. & Wohlin, C. (2010). The effect of moving from a plan-driven to an incremental software development approach with agile practices. *Empirical Software Engineering*, 15(6), 654–693. <https://doi.org/10.1007/s10664-010-9136-6>
- Plattner, H., Meinel, C. & Leifer, L. (2011). *Design Thinking: Understand – Improve – Apply*. Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Poth, A., Kottke, M., Heimann, C. & Riel, A. (2021). The EFIS Framework for Leveraging Agile Organizations Within Large Enterprises. In P. Gregory & P. Kruchten (Hrsg.), *Lecture Notes in Business Information Processing. Agile Processes in Software Engineering and Extreme Programming – Workshops* (Bd. 426, S. 42–51). Cham: Springer International Publishing.
https://doi.org/10.1007/978-3-030-88583-0_5
- Poth, A., Kottke, M., Middelhaue, K., Mahr, T. & Riel, A. (2021). Lean integration of IT security and data privacy governance aspects into product development in agile organizations. *JUCS - Journal of Universal Computer Science*, 27(8), 868–893. <https://doi.org/10.3897/JUCS.71770>
- Poth, A., Kottke, M. & Riel, A. (2020). Evaluation of Agile Team Work Quality. In M. Paasivaara & P. Kruchten (Hrsg.), *Lecture Notes in Business Information Processing. Agile Processes in Software Engineering and Extreme Programming – Workshops* (Bd. 396, S. 101–110). Cham: Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-58858-8_11
- Poth, A., Kottke, M. & Riel, A. (2021). Orchestrating Agile IT Quality Management for Complex Solution Development Through Topic-Specific Partnerships in Large Enterprises – An Example on the EFIS Framework. In M. Yilmaz, P. Clarke, R. Messnarz & M. Reiner (Hrsg.), *Communications in Computer and Information Science. Systems, Software and Services Process Improvement* (Bd. 1442, S. 88–104). Cham: Springer International Publishing.
https://doi.org/10.1007/978-3-030-85521-5_7
- Pries-Heje, J. & Krohn, M. M. (2017). The SAFe way to the agile organization. In R. Tonelli (Hrsg.), *Proceedings of the XP2017 Scientific Workshops* (S. 1–3). New York NY United States: Association for Computing Machinery.
<https://doi.org/10.1145/3120459.3120478>
- Putta, A., Paasivaara, M. & Lassenius, C. (2019). How Are Agile Release Trains Formed in Practice? A Case Study in a Large Financial Corporation. In P.

- Kruchten, S. Fraser & F. Coalier (Hrsg.), *Lecture Notes in Business Information Processing. Agile Processes in Software Engineering and Extreme Programming* (Bd. 355, S. 154–170). Cham: Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-19034-7_10
- Rapp, S., Heimicke, J., Weber, J. & Albers, A. (2020). Development of strategic guidelines for agile Parts Maturity Management of engine subsystems in the automotive industry during series ramp-up. In *Balancing Innovation and operation* (n.p.). Glasgow: The Design Society. <https://doi.org/10.35199/NORDDSIGN2020.52>
- Razzak, M. A. (2016). An Empirical Study on Lean and Agile Methods in Global Software Development. In *2016 IEEE 11th International Conference on Global Software Engineering Workshops (ICGSEW)* (S. 61–64). Piscataway Township, New Jersey, Vereinigte Staaten: IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICGSEW.2016.22>
- 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>
- Roddeck, W. (1997). *Einführung in die Mechatronik*. (1. Aufl.) Wiesbaden: Vieweg+Teubner Verlag. <https://doi.org/10.1007/978-3-322-96736-7>
- Ronkainen, J. & Abrahamsson, P. (2003). Software Development under Stringent Hardware Constraints: Do Agile Methods Have a Chance? In M. Marchesi & G. Succi (Hrsg.), *Lecture Notes in Computer Science: Bd. 2675. Extreme programming and agile processes in software engineering: 4th international conference* (Bd. 2675, S. 73–79). Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/3-540-44870-5_10
- Ropohl, G. (1975). Einleitung in die Systemtechnik. In G. Ropohl (Hrsg.), *Systemtechnik, Grundlagen und Anwendung* (S. 1–77). München: Carl Hanser Verlag.
- Rudert, S. & Trumpfheller, J. (2015). Vollumfänglich durchdacht - Der Produktentstehungsprozess. *Porsche Engineering Magazin*(1), 10–14.
- Scaled Agile Framework. (2021, 20. Oktober). *SAFe 5.0 Framework*. Online verfügbar unter <https://www.scaledagileframework.com/>, zuletzt aktualisiert am 20.10.2021, zuletzt geprüft am 07.11.2021.
- Scheithauer, D. & Forsberg, K. (2013). V-Model Views. *INCOSE International Symposium*, 23(1), 502–516. <https://doi.org/10.1002/j.2334-5837.2013.tb03035.x>

- Schmidt, T. S. (2019). *Towards a Method for Agile Development in Mechatronics: A Lead User-based Analysis on How to Cope with the Constraints of Physicality* (1. Aufl.). Produktentwicklung. Shaker.
- 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*. Report, University of the German Federal Armed.
- 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. *21ST International Conference on Engineering Design, ICED17* Vancouver, Canada 21-25 August 2017.
- Schmidt, T. S. & Paetzold, K. (2016). Agilität als Alternative zu traditionellen Standards in der Entwicklung physischer Produkte: Chancen und Herausforderungen. In D. Krause, K. Paetzhold & S. Wartzack (Hrsg.), *Proceedings of the 27th Symposium Design for X (DfX) 2016. Symposium*, Jesteburg, 5-6 October 2016 (S. 254–267).
- Schmidt, T. S., Paetzold, K. & Weiss, S. (2018). Agile Entwicklung physischer Produkte. *VDI-Statusreport 09/2018*. Düsseldorf: VDI-Gesellschaft Produkt- und Prozessgestaltung
- Schmidt, T. S., Weiss, S. & Paetzold, K. (2018a). Agile Development of Physical Products: An Empirical Study about Motivations, Potentials and Applicability. *University of the German Federal Armed Forces*.
- Schmidt, T. S., Weiss, S. & Paetzold, K. (2018b). Expected vs. Real Effects of Agile Development of Physical Products: Apportioning the Hype. In Marjanović D., Štorga M., Škec S., Bojčetić N., Pavković N. (Hrsg.), *DS 92: Proceedings of the DESIGN 2018 15th International Design Conference* (S. 2121–2132). <https://doi.org/10.21278/idc.2018.0198>
- Schuh, G., Dolle, C., Diels, F. & Kuhn, M. (2018). Methodology for Determining Agile Product Scopes in Development Projects. In *2018 Portland International Conference on Management of Engineering and Technology (PICMET)* (S. 1–9). IEEE. <https://doi.org/10.23919/PICMET.2018.8481926>
- Schuh, G., Gartzten, T., Soucy-Bouchard, S. & Basse, F. (2017). Enabling Agility in Product Development through an Adaptive Engineering Change Management. *Procedia CIRP*, 63, 342–347. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2017.03.106>
- Schuh, G., Rebentisch, E., Riesener, M., Diels, F., Dolle, C. & Eich, S. (2017, 10.–13. Dezember). Agile-waterfall hybrid product development in the manufacturing industry — Introducing guidelines for implementation of parallel use of the two models. In *2017 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM)* (S. 725–729).

- Piscataway Township, New Jersey, Vereinigte Staaten:IEEE.
<https://doi.org/10.1109/IEEM.2017.8289986>
- Schuh, G., Rudolf, S., Riesener, M. & Kantelberg, J. (2016). Application of highly-iterative product development in automotive and manufacturing industry. In The International Society for Professional Innovation Management (Hrsg.), ISPIM Innovation Symposium: Charting The Future Of Innovation Management, Boston (United States), 13. März 2016.
- Schumpeter, J. A. (1912). *Theorie der wirtschaftlichen Entwicklung*. (1. Aufl.). Berlin: Verlag von Duncker & Humblot.
- Schumpeter, J. A. (1934). *The Theory of Economic Development: An Inquiry into Profits, Capital, Credit, Interest, and the Business Cycle*. Harvard University Press.
- Schumpeter, J. A. (1939). *Business Cycles: A Theoretical, Historical, and Statistical Analysis of the Capitalist Process*. New York NY United States: McGraw-Hill.
- Schwaber, K. & Sutherland, J. (2020). *The Scrum Guide: The Definitive Guide to Scrum: The Rules of the Game*. Online verfügbar unter <https://www.scrumguides.org/docs/scrumguide/v2020/2020-Scrum-Guide-US> zuletzt geprüft am 02.01.2021
- Schweitzer, M. (2001). Führung. In F. X. Bea, E. Dichtl & M. Schweitzer (Hrsg.), *Allgemeine Betriebswirtschaftslehre: 1082 : Betriebswirtschaftslehre. Allgemeine Betriebswirtschaftslehre* (8. Aufl., Bd. 2). Stuttgart: Lucius & Lucius.
- Senapathi, M. & Srinivasan, A. (2012). Understanding post-adoptive agile usage: An exploratory cross-case analysis. *Journal of Systems and Software*, 85(6), 1255–1268. <https://doi.org/10.1016/j.jss.2012.02.025>
- Šmite, D., Moe, N. B. & Ågerfalk, P. J. (2010). *Agility Across Time and Space: Implementing Agile Methods in Global Software Projects*. Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Smith, P. G. (2007). *Flexible product development: Building agility for changing markets* (1. Aufl.). *Jossey-Bass business and management series*. San Francisco: Jossey-Bass.
- Smith, R. P. & Morrow, J. A. (1999). Product development process modeling. *Design Studies*, 20(3), 237–261. [https://doi.org/10.1016/S0142-694X\(98\)00018-0](https://doi.org/10.1016/S0142-694X(98)00018-0)
- Snowden, D. J. & Boone, M. E. (2007). A Leader's Framework for Decision Making. *Harvard business review*, 85(11), 68–77.
- Sommer, A. F., Hedegaard, C., Dukovska-Popovska, I. & Steger-Jensen, K. (2015). Improved Product Development Performance through Agile/Stage-Gate Hybrids: The Next-Generation Stage-Gate Process? *Research-*

- Technology Management*, 58(1), 34–45.
<https://doi.org/10.5437/08956308X5801236>
- Spreiter, L., Böhmer, A. I. & Lindemann, U. (2018). Evaluation of TAF Agile Framework Based on the Development of an Innovative Emergency Wearable for Seniors. In *DS92: Proceedings of the DESIGN 2018 15th International Design Conference* (S. 1345–1356).
<https://doi.org/10.21278/idc.2018.0252>
- Stacey, R. D. (2011). *Strategic management and organisational dynamics: The challenge of complexity to ways of thinking about organisations* (6th ed.). Hoboken, New Jersey, Vereinigte Staaten: Financial Times Prentice Hall.
- Stage-Gate International. (2019). *The Official Site of Stage-Gate®*. Online verfügbar unter <https://www.stage-gate.com/>, zuletzt aktualisiert am 16.12.2020, zuletzt geprüft am 20.10.2021.
- Sugimori, Y., Kusunoki, K., Cho, F. & Uchikawa, S. (1977). Toyota production system and Kanban system Materialization of just-in-time and respect-for-human system. *International Journal of Production Research*, 15(6), 553–564. <https://doi.org/10.1080/00207547708943149>
- Sunner, D. (2016). Agile: Adapting to need of the hour: Understanding Agile methodology and Agile techniques. In *2016 2nd International Conference on Applied and Theoretical Computing and Communication Technology (ICATccT)* Bangalore, India, 21.–23. Juli (S. 130–135). IEEE.
<https://doi.org/10.1109/ICATCCT.2016.7911978>
- Sutherland, J. (2005). Future of scrum: parallel pipelining of sprints in complex projects. In *Agile Development Conference (ADC'05)* (S. 90–99). IEEE Comput. Soc. <https://doi.org/10.1109/ADC.2005.28>
- Takeuchi, H. & Nonaka, I. (1986). The New New Product Development Game: Stop running the relay race and take up rugby. *Harvard business review*(January-February), 137–146.
- Terwiesch, C. & Ulrich, K. (2009). *Innovation Tournaments: Creating and Selecting Exceptional Opportunities*. Harvard Business Review Press.
- Trepper, T. (2012). *Agil-systemisches Softwareprojektmanagement*. (1. Aufl.) Wiesbaden: Springer Fachmedien. <https://doi.org/10.1007/978-3-8349-4202-9>
- Ulrich, K. T. & Eppinger, S. D. (2016). *Product design and development* (6. Aufl.). New York City, New York, Vereinigte Staaten: McGraw-Hill Education.
- VDA Verband der Automobilindustrie. (2007). *Qualitätsmanagement in der Automobilindustrie: Automotive SPICE' Prozessassessment* (1. Aufl.). Verband der Automobilindustrie e.V. (VDA).

- VDI. *Entwicklung technischer Produkte und Systeme: Gestaltung individueller Produktentwicklungsprozesse* (VDI-Richtlinie 2221 Blatt 2). Berlin. Beuth Verlag.
- VDI. *Entwicklung technischer Produkte und Systeme: Modell der Produktentwicklung* (VDI-Richtlinie 2221 Blatt 1). Berlin. Beuth Verlag.
- VDI. *Entwicklung mechatronischer und cyber-physischer Systeme* (VDI Richtlinie 2206). Berlin. Beuth Verlag.
- Vogel, J., Schuir, J., Thomas, O. & Teuteberg, F. (2020). Gestaltung und Erprobung einer Virtual-Reality-Anwendung zur Unterstützung des Prototypings in Design-Thinking-Prozessen. *HMD Praxis der Wirtschaftsinformatik*, 57(3), 432–450. <https://doi.org/10.1365/s40702-020-00608-9>
- Walden, D. D., Roedler, G. J., Forsberg, K. J., Hamelin, R. D., Shortell, T. M. & International Council on Systems Engineering (2015). *Systems Engineering Handbook – A Guide for System Life Cycle Processes and Activities, Fourth Edition*. Hoboken Wiley
- Welsch, C. (2010). *Organisationale Trägheit und ihre Wirkung auf die strategische Früherkennung von Unternehmenskrisen. Schriften zum europäischen Management*. Dissertation Technische Universität Berlin. Wiesbaden: Gabler
- Wendler, R. (2014). Development of the Organizational Agility Maturity Model. In *Annals of Computer Science and Information Systems, Proceedings of the 2014 Federated Conference on Computer Science and Information Systems* (S. 1197–1206). IEEE. <https://doi.org/10.15439/2014F79>
- Werder, K. & Maedche, A. (2018). Explaining the emergence of team agility: a complex adaptive systems perspective. *Information Technology & People*, 31(3), 819–844. <https://doi.org/10.1108/ITP-04-2017-0125>
- Wesner, E. (1977). *Die Planung von Marketing-Strategien auf der Grundlage des Modells des Produktlebenszyklus*. Freie Universität Berlin.
- Wessels, H., Heimicke, J., Rapp, S., Grauberger, P., Richter, T., Matthiesen, S. & Albers, A. (2019). Sprintplanung in der Mechatroniksystementwicklung auf Basis von Referenzsystemelementen. 17. *Gemeinsames Kolloquium Konstruktionstechnik, KT2019*, Aachen 01.10.-02.10.2019, 200–211.
- Wilmsen, M., Dühr, K., Heimicke, J. & Albers, A. (2019a). The First Steps Towards Innovation: A Reference Process for Developing Product Profiles. *Proceedings of the Design Society: International Conference on Engineering Design*, 1(1), 1673–1682. <https://doi.org/10.1017/dsi.2019.173>
- Wilmsen, M., Dühr, K., Heimicke, J. & Albers, A. (2019b). The first steps towards innovation: A reference proccss for developing product profiles. In

Proceedings of the 22nd International Conference on Engineering Design (ICED19), Delft, The Netherlands. <https://doi.org/10.1017/dsi.2019.173>

Wilmsen, M., Groschopf, L. & Albers, A. (2019). Establishing innovation: Relevant process steps for the automotive predevelopment process. In *41st R&D Management Conference 2019 "The Innovation Challenge: Bridging Research, Industry and Society"*. Paris, 19.-21. Juni. (n.p.).

Wynn, D. C. & Clarkson, P. J. (2018). Process models in design and development. *Research in Engineering Design*, 29(2), 161–202.

Wynn, D. C. & Eckert, C. M. (2017). Perspectives on iteration in design and development. *Research in Engineering Design*, 28(2), 153–184.
<https://doi.org/10.1007/s00163-016-0226-3>

Zimmermann, V., Heimicke, J., Alink, T., Dufner, Y. & Albers, A. (2019). Agile Development of Mechatronic Systems: Utopia or Reality – an Evaluation from Industrial Practice. In *41st R&D Management Conference 2019 "The Innovation Challenge: Bridging Research, Industry and Society"*. Paris, 19.-21. Juni. (n.p.).

Zukunftsinstitut. (2021). *Die Megatrend-Map*. Online verfügbar unter <https://www.zukunftsinstitut.de/artikel/die-megatrend-map/>, zuletzt aktualisiert am 08.10.2021, zuletzt geprüft am 08.10.2021.

Studentische Abschlussarbeiten, die im Rahmen dieser Dissertation am IPEK – Institut für Produktentwicklung am Karlsruher Institut für Technologie (KIT) durch den Autor Co-betreut wurden

Blattner, R. (2020). Ein Beitrag zur Beschreibung spezifischer Charakteristiken einer ersten Produktgeneration und Identifikation von Herausforderungen in zugehörigen Entwicklungsprozessen (3994) [Unveröffentlichte Masterarbeit]. Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Karlsruhe.

Bobrysch, A. (2019). Agile Produktentwicklung für das Validierungssystem unter Anwendung ausgewählter Prinzipien des ASD - Agile Systems Design: IPEK-thesis; 3523; Sperrvermerk - bis 22.07.2024. Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Karlsruhe.

Bramato, L. (2021). Einführung Agilität in Prozesse (IPEK-Abschlussarbeit 4237) [Unveröffentlichte Bachelorarbeit]. Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Karlsruhe.

Czech, C. (2021). Entwicklung einer Evaluationsmethodik zur Untersuchung von Erfolgskriterien bei der Einführung agiler Ansätze in die

- Entwicklungsprozesse produzierender Unternehmen (IPEK-Abschlussarbeit 4235) [Unveröffentlichte Masterarbeit]. Karlsruhe Institute of Technology (KIT), Karlsruhe.
- Kaiser, K. (2019). Ansatz für die Transformation zur agilen plattformübergreifenden Baukastenentwicklung im Kontext eines Planungstools durch ASD – Agile Systems Design (IPEK-Abschlussarbeit 3703) [Unveröffentlichte Masterarbeit, Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Karlsruhe]. RIS.
- Kaiser, S. (2020a). Branchenübergreifende Analyse von Akzeptanz und wahrgenommenem Mehrwert hinsichtlich agiler Arbeitsansätze und Ableitung von Handlungsempfehlungen zur Überwindung der Diskrepanzen zwischen Management- und Entwicklersicht (IPEK-Abschlussarbeit 4062) [Unveröffentlichte Masterarbeit]. Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Karlsruhe.
- Kaiser, S. (2020b, 23. Juli). Branchenübergreifende Analyse von Akzeptanz und wahrgenommenem Mehrwert hinsichtlich agiler Arbeitsansätze und Ableitung von Handlungsempfehlungen zur Überwindung der Diskrepanzen zwischen Management- und Entwicklersicht. Unveröffentlichte Masterarbeit. Karlsruher Institut für Technologie (KIT). Heimicke, J., & Albers, A., Karlsruhe.
- Krüger, M. (2020). Aufbau einer Methode zur Entwicklung unternehmensspezifischer agiler Prozesslösungen (IPEK-Abschlussarbeit 4074) [Unveröffentlichte Bachelorarbeit]. Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Karlsruhe.
- Mellert, T. (2020). Agile Methoden in der Produktentwicklung – Handlungsempfehlung und Erfolgsbewertung für den Bereich „Identification and Measuring“ der Firma SICK AG (IPEK-Abschlussarbeit 4042) [Unveröffentlichte Masterarbeit]. Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Karlsruhe.
- Müller, J. (2019). Einordnung des branchenübergreifenden Agilitätsverständnisses in den Kontext der Mechatroniksystementwicklung: Ein Systematic Literature Review (IPEK-Abschlussarbeit 3771) [Unveröffentlichte Bachelor-/Masterarbeit]. Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Karlsruhe.
- Natale, F. (2021). Analyse der Effizienz von agilen Projektmanagementmethoden in der Einzelfertigung (IPEK-Abschlussarbeit 4323) [Unveröffentlichte Masterarbeit]. Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Karlsruhe.
- Ng, G.-L. (2020). Aufbau einer Systematik zur Bereitstellung und Auswahl von Methoden und Vorgehensmodellen zur individuellen Entwicklung agilstrukturierter Prozesslösungen für die Mechatroniksystementwicklung (IPEK-Abschlussarbeit 4082) [Unveröffentlichte Masterarbeit]. Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Karlsruhe.
- Pfau, S. (2020). Entwicklung einer agil-strukturierten Prozesslösung mittels ASD - Agile Systems Design zum situationsgerechten Umgang mit technischen Änderungen des Porsche Taycan im After Sales der Porsche AG (IPEK-

- Abschlussarbeit 4093) [Unveröffentlichte Bachelorarbeit]. Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Karlsruhe.
- Reuter, Y. (2021). Entwicklung einer Systematik zur Entscheidungsunterstützung im Umfeld der strategischen Wertschöpfung bei einem OEM (IPEK-Abschlussarbeit 4321) [Unveröffentlichte Bachelorarbeit]. Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Karlsruhe.
- Rösel, T. (2020). Analyse der Vernetzung von Einflüssen auf die agile Zusammenarbeit in der Produktentwicklung (IPEK-Abschlussarbeit 4069) [Unveröffentlichte Bachelorarbeit]. Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Karlsruhe.
- Schabel, L. (2021). Eine Systematik zur Bewertung der Anwendungseignung agiler Entwicklungsmethoden in verschiedenen Prozessmodellen (IPEK-Abschlussarbeit 4282) [Unveröffentlichte Bachelorarbeit]. Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Karlsruhe.
- Schill, A. (2020). Objektivierung von Faktorklassifikationen bezüglich agiler Prinzipien als Beitrag zur situations- und bedarfsgerechten Ermittlung agiler Vorgehensweisen in der physischen Produktentwicklung (IPEK-Abschlussarbeit 4115) [Unveröffentlichte Bachelorarbeit]. Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Karlsruhe.
- Schmid, C. (2021). Evaluation der Einführung agiler Elemente am Beispiel der Weiterentwicklung agiler Fähigkeiten in einem Baukastenentwicklungsprojekt (IPEK-Abschlussarbeit 4312) [Unveröffentlichte Masterarbeit]. Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Karlsruhe.
- Schürbüscher, M. (2020). Entwicklung eines Methodenprofils für einen Ansatz zur situations- und bedarfsgerechten Unterstützung der physischen Produktentstehung unter Berücksichtigung der Potentiale und Herausforderungen agiler Ansätze (IPEK-Abschlussarbeit 4097) [Unveröffentlichte Masterarbeit]. Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Karlsruhe.
- Spahic, A. (2021). Stage-Gate wird zum Agile-Stage-Gate Hybrid – Eine Analyse der Entwicklung des Stage- Gate-Prozesses von Cooper (IPEK-Abschlussarbeit 4119) [Unveröffentlichte Masterarbeit]. Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Karlsruhe.
- Trost, S. (2020). Ausrichtung des Wandels zur agilen Produktentwicklung durch methodengestützte Bewertung agiler Prinzipien in der Mechatroniksystementwicklung (IPEK-Abschlussarbeit 4010) [Masterarbeit]. Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Karlsruhe.
- Weber, J. (2020). Entwicklung strategischer Handlungsempfehlungen für eine agile Reifegradsteuerung von Motorsubsystemen in der

Automobilenwicklung während des Serienanlaufs (IPEK-Abschlussarbeit 3888) [Masterarbeit]. Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Karlsruhe.

Liste eigener Vorveröffentlichungen

- Albers, A., Basedow, G. N., Heimicke, J., Marthaler, F., Spadinger, M. & Rapp, S. (2020). Developing a common understanding of business models from the product development perspective. *Procedia CIRP*, 91, 875–882. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2020.03.122>
- Albers, A., Braun, A., Heimicke, J. & Richter, T. (2020). Der Prozess der Produktentstehung. In F. Henning & E. Moeller (Hrsg.), *Handbuch Leichtbau* (S. 1–35). München: Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG. <https://doi.org/10.3139/9783446459847.001>
- Albers, A., Ebertz, J., Rapp, S., Heimicke, J., Kürten, C., Zimmermann, V. et al. (2020). *Produktgeneration 1 im Modell der PGE – Produktgenerationsentwicklung: Verständnis, Zusammenhänge und Auswirkungen in der Produktentwicklung*. *Verständnis, Zusammenhänge und Auswirkungen in der Produktentwicklung* (KIT Scientific Working Papers 149). <https://doi.org/10.5445/IR/1000127971>
- Albers, A., Heimicke, J., Hirschter, 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 *DS 91: Proceedings of NordDesign 2018, Linköping, Sweden*.
- Albers, A., Heimicke, J., Müller, J. & Spadinger, M. (2019). Agility and its Features in Mechatronic System Development: A Systematic Literature Review. *ISPIM2019*.
- Albers, A., Heimicke, J., Spadinger, M., Reiss, N., Breitschuh, J., Richter, T. et al. (2019a). A systematic approach to situation-adequate mechatronic system development by ASD - Agile Systems Design. *Procedia CIRP*, 84, 1015–1022. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2019.03.312>
- Albers, A., Heimicke, J., Spadinger, M., Reiss, N., Breitschuh, J., Richter, T. et al. (2019b). Eine Systematik zur situationsadäquaten Mechatroniksystementwicklung durch ASD – Agile Systems Design. In *KIT Scientific Working Papers* (Bd. 113). Karlsruhe: KIT. <https://doi.org/10.5445/IR/1000091847>
- 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 *Balancing Innovation and operation* (n.p.). The Design Society.
- 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 *Procedia 30th CIRP Design Conference* (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. et al. (2018). Product Profiles: Modelling customer benefits as a foundation to bring inventions to innovations. *Procedia CIRP*, 70, 253–258. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2018.02.044>
- Albers, A., Rapp, S., Peglow, N., Stürmlinger, T., Heimicke, J., Wattenberg, F. et al. (2019). Variations as Activity Patterns: A Basis for Project Planning in PGE – Product Generation Engineering. *Procedia 29th CIRP Design Conference*.
- Albers, A., Rapp, S., Spadinger, M., Richter, T., Birk, C., Marthaler, F. et al. (2019). *Das Referenzsystem im Modell der PGE – Produktgenerationsentwicklung: Vorschlag einer generalisierten Beschreibung von Referenzprodukten und ihrer Wechselbeziehungen* (KIT Scientific Working Papers, Bd. 96). Karlsruhe: Karlsruher Institut für Technologie (KIT). Verfügbar unter: <https://publikationen.bibliothek.kit.edu/1000093227>
- Goevert, K., Heimicke, J., Lindemann, U. & Albers, A. (2019). Interview Study on the Agile Development of Mechatronic Systems. In The Design Society (Hrsg.), *Proceedings of the Design Society: International Conference on Engineering Design* (1. Aufl., Bd. 1, S. 2287–2296). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/dsi.2019.235>
- Heimicke, J., Bramato, L., Schöck, M., Müller, J. & Albers, A. (2021). Framework for Introducing Agility into Development Processes of Producing Companies. In The International Society for Professional Innovation Management (Hrsg.), *ISPIM Connects Valencia 2021. Reconnect, Rediscover & Reimagine* (n.p.).
- Heimicke, J., Czech, C., Müller, J., Schöck, M. & Albers, A. (2022). A Methodology for Measuring the Success of Implementing Agility into Processes of Physical Product Development. In The Design Society (Hrsg.), *Proceedings of the DESIGN 2022 17th International Design Conference* (Design Conference Proceedings, submitted). Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture, University of Zagreb, Croatia; The Design Society, Glasgow, UK.
- Heimicke, J., Duehr, K., Krüger, M., Ng, G.-L. & Albers, A. (2021). A framework for generating agile methods for product development. *Procedia CIRP*, 100, 786–791. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2021.05.043>
- Heimicke, J., Kaiser, S. & Albers, A. (2021). Agile Product Development: An Analysis of Acceptance and Added Value in Practice. In *Proceedings of 31st CIRP Design Conference 2021* (in print).
- Heimicke, J., Kaiser, K., Albers, A., Frei, C., Muschik, S., Birk, C. et al. (2019). ASD – Agile Systems Design in Modular Design: Operationalization of agile Principles for cross-platform Agile-Boards. In *41st R&D Management*

Conference 2019 "The Innovation Challenge: Bridging Research, Industry and Society" (n.p.).

- Heimicke, J., Mellert, T. & Albers, A. (2020). Performance Evaluation of Agility in Product Development using targeted KPIs. In I. Bitran, S. Conn, C. Gernreich, M. Heber, K. Huizingh & M. Torkkeli (Hrsg.), *ISPIM Connects Global 2020: Celebrating the World of Innovation*. Virtual.
- Heimicke, J., Ng, G.-L., Krüger, M. & Albers, A. (2021). A systematic for realizing agile principles in the process of mechatronic systems development through individual selection of suitable process models, methods and practices. *Procedia CIRP*, 100, 619–624. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2021.05.133>
- 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. *Proceedings of the Design Society: International Conference on Engineering Design*, 1(1), 2199–2208. <https://doi.org/10.1017/dsi.2019.226>
- Heimicke, J., Pfau, S., Vetten, L. & Albers, A. (2021). Entwicklung einer agil-strukturierten Prozesslösung mittels ASD – Agile Systems Design für das technische Änderungsmanagement im After Sales eines OEM der Automobilindustrie. In R. H. Steltzer & J. Krzywinski (Hrsg.), *Entwerfen Entwickeln Erleben - EEE2021. Dresden, 17. - 18.06.2021* (S. 255–270). Dresden: TUDpress.
- Heimicke, J., Reiss, N., Albers, A., Walter, B., Breitschuh, J., Knoche, S. et al. (2018). Agile Innovative Impulses in the Product Generation Engineering. Creativity by Intentional Forgetting. *Proceedings of 5th International Conference on Design Creativity (ICDC 2018)*, (8), 183-190.
- Heimicke, J., Reuter, Y., Müller, J., Grau, A., Sebastian, H. & Albers, A. (2021). Introducing Agility into Strategic Value Management of an OEM. In The International Society for Professional Innovation Management (Hrsg.), *ISPIM Connects Valencia 2021. Reconnect, Rediscover & Reimagine* (n.p.).
- Heimicke, J., Roebenack, S., Frobieter, C., Tihlarik, A., Albert, B., Bramato, L. et al. (2021). Evaluation of Challenges in the Implementation of Scrum in a large German Plant Engineering Company: Derivation of Hypotheses for an Improved Introduction of Agile Approaches into the Processes of Physical Product Development. In *R&D Management Conference 2021 - Innovation in an Era of Disruption* (n.p.). online.
- Heimicke, J., Rösel, T. & Albers, A. (2021). Analyse des Einflusses von Faktoren auf die agilen Fähigkeiten von Organisationseinheiten in der Entwicklung physischer Systeme. In R. H. Steltzer & J. Krzywinski (Hrsg.), *Entwerfen Entwickeln Erleben - EEE2021. Dresden, 17. - 18.06.2021* (S. 691–702). Dresden: TUDpress.
- Heimicke, J., Spadinger, M. & Li, Xiang, Albers, Albert. (2020). Potentials and Challenges in the Harmonization of Approaches for agile Product


- Development and Automotive SPICE. *Proceedings of 8th Transport Research Arena TRA 2020, April 27-30, 2020, Helsinki, Finland*, in print.
- Heimicke, J., Spahic, A., Bramato, L. & Albers, A. (2021). Ermittlung von Anforderungen an eine Anwendungsfall-Spezifische Einführung Agiler Ansätze – Erkenntnisse aus der Anwendung des Agile-Stage-Gate Hybrids. In R. H. Steltzer & J. Krzywinski (Hrsg.), *Entwerfen Entwickeln Erleben - EEE2021. Dresden, 17. - 18.06.2021* (S. 633–644). Dresden: TUDpress.
- Rapp, S., Heimicke, J., Weber, J. & Albers, A. (2020). Development of strategic guidelines for agile Parts Maturity Management of engine subsystems in the automotive industry during series ramp-up. In *Balancing Innovation and operation* (n.p.). The Design Society.
- Wessels, H., Heimicke, J., Rapp, S., Grauberger, P., Richter, T., Matthiesen, S. et al. (2019). Sprintplanung in der Mechatroniksystementwicklung auf Basis von Referenzsystemelementen. *17. Gemeinsames Kolloquium Konstruktionstechnik, KT2019, Aachen, Germany*, 200–211. Verfügbar unter: <https://publications.rwth-aachen.de/record/767388/files/767388.pdf>
- Wilmsen, M., Dühr, K., Heimicke, J. & Albers, A. (2019a). The First Steps Towards Innovation: A Reference Process for Developing Product Profiles. *Proceedings of the Design Society: International Conference on Engineering Design*, 1(1), 1673–1682. <https://doi.org/10.1017/dsi.2019.173>
- Wilmsen, M., Dühr, K., Heimicke, J. & Albers, A. (2019b). The first steps towards innovation: A reference process for developing product profiles. In *Proceedings of the 22nd International Conference on Engineering Design (ICED19)*.
- Zimmermann, V., Heimicke, J., Alink, T., Dufner, Y. & Albers, A. (2019). Agile Development of Mechatronic Systems: Utopia or Reality – an Evaluation from Industrial Practice. In *41st R&D Management Conference 2019 "The Innovation Challenge: Bridging Research, Industry and Society"* (n.p.).

Glossar

Definition 1:	Produktprofil	8
Definition 2:	Innovation	9
Definition 3:	Produktentstehung	11
Definition 4:	Produktentwicklung	12
Definition 5:	Zielsystem	13
Definition 6:	Handlungssystem	13
Definition 7:	Objektsystem	13
Definition 8:	Referenzsystem	16
Definition 9:	System of Systems	22
Definition 10:	ASE – Advanced Systems Engineering	23
Definition 11:	iPeM – integriertes Produktentstehungs-Modell	43
Definition 12:	ASD – Agile Systems Design	63
Definition 13:	Agilität	95

Anhang A

Produktprofiltemplate

Produktclaim <i>Wir brauchen ein Produkt, das...</i>		Bild  <small>Link für zusätzliche Informationen</small>
Initiale Produktbeschreibung <ul style="list-style-type: none">■ Produkteigenschaften■ Hauptfunktionen / Kundefunktionen■ USP (Alleinstellungsmerkmal)■ ...		
Referenzsystem <ul style="list-style-type: none">■ Referenzelemente aus<ul style="list-style-type: none">■ Vorgänger Produktgeneration■ Eigenem Unternehmen■ Gleicher/anderer Branche	Use Cases <ul style="list-style-type: none">■ In welchem Kontext wird dieses Produkt eingesetzt?■ Wie interagiert der Kunde / Nutzer mit dem Produkt?■ ...	
Anbietersnutzen <ul style="list-style-type: none">■ Strategischer Einsatz■ Passt zu Unternehmensphilosophie, Marke, ...■ Erweiterung Produktportfolio■ Geschäftsmodell■ Ressourcen■ Nutzbare Kernkompetenzen	Kundennutzen <ul style="list-style-type: none">■ Customer Pain – das Problem aus Sicht eines Kunden■ Wie wird das Produkt dem Kunden nutzen?■ Zielgruppe / Marktsegment	Anwendersnutzen <ul style="list-style-type: none">■ User Pain – das Problem aus Sicht eines Anwenders■ Wie wird das Produkt dem Anwender nutzen?■ Zielgruppe
Wettbewerbssituation <ul style="list-style-type: none">■ Wettbewerb■ Marktanteile■ Patentsituation■ Konkurrierende Produkte	Nachfrage <ul style="list-style-type: none">■ Beschreibung des Kunden / Anwender■ Märkte■ Marktpotential / Marktgröße■ Trends / Zukunftsszenarien	
Validierung des ... durch <ul style="list-style-type: none">■ Z.B. des Customer Pain und User Pain durch Interviews■ Z.B. der Patentsituation durch eine Patentanalyse mit Fokus auf Europa■ ...		
Rahmenbedingungen / Einschränkungen <ul style="list-style-type: none">■ Gesetzliche Rahmenbedingungen■ Standards■ Strategische Partnerschaften■ ...		

Prozessmodellanalyse (SCHÜRBÜSCHER 2020, 121ff.)



Anhang C

Interviewleitfaden: **explorative** Herleitung Forschungsbedarf

Interviewleitfaden nach SPAHIC (2021)

Anwendung agiler Elemente

- Was bedeutet Agilität in einer physischen Produktentwicklung?
- Was verstehen Sie unter Agilität?
- Können Sie Beispiele nennen, bei denen agile Methoden in Produktentwicklungsprozessen physischer Produkte angewendet wurden?
- In welcher Form werden agile Methoden in klassischen Produktentwicklungsprozessen integriert?
- Welche agilen Elemente haben Sie bisher in Ihrer Praxis in der Produktentwicklung physischer Elemente angewendet?
- Inwiefern unterscheidet sich der agile Entwicklungsansatz vom klassischen Entwicklungsansatz in der Praxis?

Anwendung agiler Elemente bzgl. Prozessphase

- In welchen Phasen des Produktentwicklungsprozesses werden agile Methoden besonders benötigt?
- Werden agile Elemente über alle Projektphasen gleichmäßig angewendet oder gibt es Unterschiede?
- In welchen Projektphasen ist der Anteil agiler Elemente höher?
- Ist die Anwendung agiler Elemente in allen Projektphasen sinnvoll? Wenn ja, warum? Wenn nein, warum nicht?
- Wie gehen Sie mit der Anwendung unterschiedlicher Elemente je nach Projektphase um?
- Kommt es zu Schwierigkeiten, wenn verschiedene agile Elemente für unterschiedliche Projektphasen angewendet werden?

Anwendung agiler Elemente bzgl. Projektart

- Haben Sie für alle Projektarten agile Elemente in den Entwicklungsprozess integriert?

- Für welche Projektarten haben Sie agile Elemente verwendet?
- Warum eignen sich manche Projektarten eher für die Anwendung agiler Elemente als andere Projektarten?
- Welche Merkmale sind für eine solche Unterscheidung wichtig?
- Auf welche Art und Weise unterscheiden sich unterschiedliche Projektarten?

Organisatorische Implikationen

- Welche organisatorischen Veränderungen wurden in Ihrer Organisation vollzogen, um den agilen Charakter zu etablieren?
- Inwiefern unterscheidet sich diese Organisationsstruktur von der bisherigen Organisationsstruktur?
- Welche Herausforderungen und Schwierigkeiten können dabei auftreten bzw. sind bereits aufgetreten?
- An welchen Schnittstellen kam es zu den größten Herausforderungen und Schwierigkeiten?
- Welche organisatorischen Voraussetzungen müssen gegeben sein, damit eine Integration agiler Methoden in einen klassischen Produktentwicklungsprozess gelingen kann?
- Wie sah die Verzahnung dieser agilen Methoden mit klassischen Planungsregelkreisen aus? Welche Schwierigkeiten kamen dabei auf?

Grenzen der Physikalität

- Welche Herausforderungen und Schwierigkeiten hatten Sie bei der Anwendung agiler Elemente in einer physischen Produktentwicklung?
- Wie haben Sie diese Herausforderungen gelöst?
- Welche Lösungsversuche haben funktioniert, welche nicht?
- Auf welche Art und Weise wurden der inkrementelle Charakter und die Validierung der Inkremente gestaltet?
- Welche Sprintdauer ist für mechatronische Produkte realistisch?
- Wie werden funktions- und testfähige Inkremente innerhalb einer knappen Zeitdauer hergestellt?
- Wie wird die Validierung in Form einer Definition of Done aus der Softwareentwicklung in die mechatronische Produktentwicklung übersetzt?
- Wie geht man mit Langläufern bzgl. der Herstellung, Bestellung, Zertifizierung oder Testing um?
- Ist eine Parallelisierung von Entwicklungsaktivitäten für mechatronische Produkte möglich?

- Ist eine Modularisierung innerhalb einer physischen Produktentwicklung möglich, um funktions- und testfähige Inkremente produzieren zu können?
- Wie schätzen Sie den Änderungsaufwand ein, der bei der Integration agiler Elemente in die mechatronische Produktentwicklung auftritt?

Einführung

- Auf welche Art und Weise wurden agile Vorgehensmodelle bzw. Elemente in Ihrem Unternehmen/in Ihrer Organisationseinheit eingeführt?
- Wurden agile Vorgehensmodelle bzw. Elemente allgemein etabliert oder wurden agile Vorgehensmodelle bzw. Elemente individuell auf den Unternehmenskontext angepasst?
- Gab es während der Einführung agiler Vorgehensmodelle bzw. Elemente eine interne oder externe methodische Unterstützung?
- Wurden agile Vorgehensmodelle bzw. Elemente in vollem Umfang oder in Kombination mit traditionellen Elementen kombiniert?

Anhang D

Fragebogen zur explorativen Interviewstudie

Bereich der Frage	Fragen
Verständnis agiler Entwicklung in der Praxis	Was verstehen Sie unter agiler Entwicklung?
	Entwickeln Sie (Ihr Team/Abteilung) nach Ihrem Verständnis agil?
	Benutzen Sie agile Techniken (SCRUM, Design Thinking, Lean Startup, ...)?
	Warum verzichten Sie in bestimmten Situationen auf agile Techniken? Was sind die Gründe dafür?
Der Zusammenhang zwischen agilen Ansätzen und Entwicklungsmethoden	Verwenden Sie Entwicklungsmethoden wie Kreativitätstechniken, Bewertungsmethoden oder Systemanalysemethoden?
	Welche Auswirkungen hat die Anwendung der von Ihnen erwähnten Methoden auf die Agilität?
	Wählen Sie in verschiedenen Entwicklungssituationen selbständig die geeigneten Methoden aus oder werden Ihnen diese von Projektleitern, internen Prozessen oder Ähnlichem vorgegeben?
	Wie viel Vorwissen (Prozesswissen und Produktwissen) aus früheren Produktentwicklungsprojekten fließt Ihrer Meinung nach in die Entwicklung des aktuellen Produkts ein (in %)?
Grenzen von Agilität	Was sind nach Ihrer Erfahrung die Grenzen agiler Methoden, Prozesse und Entwicklung?
	Wenn möglich: Bitte geben Sie jeweils ein Beispiel für die von Ihnen genannten Grenzen an.
Einführung agiler Ansätze	Wie wurde die agile Entwicklung in Ihrem Unternehmen eingeführt?
	Wurde agile Entwicklung methodisch eingeführt oder gab es eine Strategie, die verfolgt wurde?
	Wie wurde das agile Mindset für Mitarbeitende, Kolleginnen und Kollegen geschaffen?
	War die Einführung agiler Ansätze aus Ihrer Sicht erfolgreich, und gibt es im Moment noch Herausforderungen?
	Würden Sie bei der Einführung agiler Ansätze etwas anders machen, wenn Sie wieder agile Ansätze einführen würden?

Anhang E

Übersicht über Einflussfaktoren auf agile Fähigkeiten

1-1 Branche	Einfluss der Produktlebenszykluszeit		Fehlerkultur
	Einflüsse der normativen Welt kennen		Synchronisation zw. Hardware und Software
1-2 Unternehmensstruktur	Form der Hierarchien im Unternehmen	1-5 Unternehmenskultur	Verständnis von Agilität/SE
	Kollaboration im Unternehmen		Lebenslanges Lernen
	Länge der Entscheidungswege		Systementwicklung
	Skalierung von agilen Praktiken		Priorisierung von Pragmatik oder Dogmatik (Fragwürdiger Faktor)
1-3 Arbeitsumfeld	Einhalten der Arbeitszeiten		Konfliktkultur
	Implementierungsgrad Agiler/SE Methoden		Kommunikation zw. agilen und traditionellen Organisationseinheiten
	Einsatz von Agile Coaches mit Erfahrung		Verbreitung von Modellbildungsansätzen
	Autonomie durch Grenzen		Umgang mit Verschwendung
	Methodenschulungen für Mitarbeiter		Wissen maximieren durch Validation
	Verbreitung von Kodierungsstandards im Unternehmen		Granularität der Planung (Grob/Mikromanagement)
	Pflege von Unternehmensstandards		Strukturen sind immer Ausgangspunkt eines Kulturwandels
	Umfang von Schulung und Training der Mitarbeiter		Form des menschlichen Umgangs
	Erweiterungen der kreativen Freiräume	1-6 Produktionssystem	Umsstellungsaufwand der Produktionssysteme
	Grad der Informationsbereitstellung,Möglichkeit der Informationsbeschaffung		Vielseitigkeit des Produktionssystems
	Gehaltsniveaus		Einstellbereich und Einstellbarkeit des Produktionssystems
	Formalisierungsgrad (Normen und Richtlinien) von Denk- und Handlungsweisen		Substitutionsfähigkeit
1-4 Unternehmensstrategie	Ausrichtung der Strategie an den Kundennutzen	1-7 Stakeholder	Vielfalt von Lasten
	Agilität/SE ist kein Selbstzweck		Teilvielfalt des Produktionssystems
	Einbindung von Zulieferern und Partnern		Gemeinsamkeit von Produkten
	Beobachtung des Marktes		Orientierung des Konditionsmanagement
	Autorität des Kunden	1-8 Zulieferer	Integration von Kunden, Anbieter und Anwender
	Abstimmung zwischen Software und Hardware-Anteilen techn. Systeme		Grad der Einbindung von interner und externer Stakeholder
	Grad der Fluidität von Ressourcen		Organisationsgrad der Unternehmensübergreifende Kollaboration
	Grad der Aufgeschlossenheit des Unternehmens zur Produktvariation	1-9 Validierungssystem	Wahl des Unternehmensstandort
	Führung eines virtuellen Produktportfolios		Ressourcenverfügbarkeit
	Nutzung von Standardverträgen und Vorabspezifikationen		Netzwerke und Partnerschaften
	Verbreitung des Verständnisses von Erfolgskriterien		Reaktionszeit von Geschäftspartnern
1-5 Unternehmenskultur	Abwägung von Business Case und Produktprofil		Kompatibilität genutzter Teilsysteme
	Top-Down Einigkeit über Vorgehen		Agilität in der Lieferkette
	Austausch neuer Ideen		Evaluation der Dienstleister
	Informationsfluss im Unternehmen		Anzahl an Lieferanten
	Kommunikation zwischen Entwicklerteams		Lieferzeiten
	Verbreitung von Visionen und Werten im Unternehmen		Anzahl Außerplanmäßige Aufträge an Supplier
	Nutzung von Metamodellen zur Prozessgestaltung		Anteil des Produktentwicklers am Validierungssystem

Ebene Organisation (Trost, 2020, 146ff.)

2-1 Werte, Leitmotiv	Konsistenz der Auffassung des Problemverständnis
	Bedeutsamkeit von Veränderungen
	Transformationswille des CEO
	Ausrichtung des Führungsverständnis
	Kommunikationsoffenheit aller Beteiligten
2-2 Führungsstil	Psychologische Ermächtigung
	Art des Führungsstils
	Hilfe zur Selbsthilfe
	Empowerment der Mitarbeiter
	Spezialisierungsgrad der Mitarbeiter
	Umgang mit der Arbeitsumgebung und mit Ablenkungen
2-3 Führungskompetenz	Verhältnis zw. Einfordern und Fordern von Mitarbeitern
	Orientierung des Projektmanagements
	Kenntnis der Denk- und Handlungsweisen des Ansatzes auf Führungsebene
	Graf der Moderationskenntnisse
2-4 Unternehmensleitung	Gestaltung der Prozesse im Arbeitsalltag
	Commitment erzeugen und beibehalten
	Bereitschaft zur Veränderung

Ebene Führung (Trost, 2020, 160ff.)

3-1 PGE - Produkt Generations Entwicklung	Festlegung des Neuentwicklungsanteils	3-3 Produktentwicklungsteam	Häufigkeit von Team-Meetings
	Verfügbarkeit von Referenzsysteme-Elementen		Dokumentation von Teammeetings
	Pflegen der Wissensbasis		Größe des Entwicklerteams
	Umfang der Dokumentation		Durchführung von Reflexion in Team Retrospective
	Gestaltung des Suchprozesses nach Referenzen		Hierarchiestruktur im Team
3-2 Projektmanagement	Verträglichkeit von Leitprozessen und Standards mit neuen Methoden		Personen mit Entscheidungskompetenz
	Kommunikation von Endzielen		Umgang mit Entscheidungen
	Form des Projektmanagement		Grad der Selbstorganisation des Teams
	Zeitliche Lieferung neuer Inkremente		Rollenverteilung im Team
	Analyse des Projektrisikos		Einführung einer Diskussionskultur
	Transparenz des Budgetcontrollings		Gleichartigkeit der Typenprofile im Team
	Berücksichtigung der Projektlänge		Einsatz von einem Team-Leitfaden ('guide board')
	Prozessgestaltung		Einsatz eines Team-Leitbilds ('teamvision')
	Berücksichtigung der Projektstabilität		Zusammenhalt des Teams
	Umgang mit dem Neu- und Umformulierungen von Zielen		Anpassung des Teams
	Entscheidungsgrundlage zw. Traditionell und Agil/SE		Belastbarkeit von Aussagen
	Ausstattung mit Ressourcen zur finanziellen Absicherung	3-4 Erwartung an Entwicklungsergebnisse	Länge von Freigabezykluszeiten
	Nutzung von Produktprofilen		Häufigkeit der teaminterne Performance-Messung
	Umgang mit Zeitmangel für kreative Ideenfindung		Qualität der Team-Performance
	Good enough - Planung		Arbeiten nach dem Flow Prinzip
	Häufigkeit von Planungstreffen zwischen den Entwicklern und dem Kunden (Präsenz des Kunden im Entwicklungsprozess)		
	Häufigkeit der Verbesserung/Veränderung von Prozessen		
	Identifikation und Einbindung neuer Stakeholder		
	Führung einer Risikoliste		

Ebene Projekt Teil 1 (Trost, 2020, 163ff.)

Anhang E

3-5 Projektumfeld	Projektsichtbarkeit	3-7 Einsatz von Methoden und Tools	Formalisierungsgrad des Prozessmodells
	Präsenz des Kunden im Entwicklungsprozess		Detaillierungsgrad des Prozessmodells
	Zugriff auf Tools und Methoden		Adaptivität des Prozessmodells
	Anwendungskomplexität der verwendeten Tools		Konsistenz des Problemlöseprozess
	Örtlichkeiten für Informationsfluss optimiert		Diversität von Tools und Methoden
	Grad an Wechselwirkung zw. Mechatronik, Elektronik und Informatik		Abstrahierungslevel von Methoden, Denkweisen und Prozessen
	Zugriff auf zusätzliche Räumlichkeiten		Adaptionsnötigkeit von Methoden, Denkweisen und Prozessen
	Verfügbarkeit von Arbeitsmitteln		Visualisierung des Projektfortschritts
	Zugriffsmöglichkeit auf Wissen		Einsatz von User Stories
	Verfügbarkeit von Vorgesetzten und Stakeholdern		Einsatz von Whiteboard Modelling
3-6 Entwicklungsauftrag	Einsatz von Visualisierungstechniken		Vielseitigkeit der virtuellen Simulationsverfahren
	Bewertung der Kritikalität von Projekten	3-8 Prototyping	Anwendbarkeit von Entwicklungsmethoden
	Koevolution von Zielen und Objekten		Aufwand der Methodennutzung
	Pflege des Zielsystems		Aufbereitung von Methoden
	Schnittstellenkomplexität		Kenntnis über Arbeitsorganisations- und Projektmanagementelementen
	Entwicklung ausgerichtet an Produktprofil		Vielseitigkeit der physischen Prototyping-Verfahren
	Umgang mit späten Änderungen		Einsatz von Prototyping auf Gesamtsystemebene
	Umgang mit gegenseitigen Abhängigkeiten		Schnelligkeit der Prototypen- und Komponentenherstellung
	Ergebnisorientierung durch 'Definition of Done'	3-9 Validierung	Eigenschaften von "guten" Fehlschlägen
	Priorisierung von Anforderungen		Zugang zum Feedback erfahrener Nutzer
	Nutzen von einfachen Designs		Umgang mit dem Validieren
	Integration von Testszenarien in den Entwicklungsprozess (Test-First Development)		Umgang mit der Integration von Teilsystemen
	Allgemeine Kenntnis über Beschreibungsmöglichkeiten von Arbeitsprodukten		Häufigkeit der Verifikation im Unternehmen
	Allgemeine Kenntnisse über Beschreibungsmöglichkeiten von Aufgaben		Umfang der Validierung des Vorgehens
	Kompatibilität der Vertragsmodelle mit Agile/SE		Umgang mit dem Wechsel des Validierungsmodus
	Handeln im Sinne des Kunden		Wer führt die Validierung durch
			Überprüfung von Arbeitsergebnissen

Ebene Projekt Teil 2 (Trost, 2020, 160ff.)

4-1 Wissen	Auspärgung von Fachkompetenz und Expertenwissen Grad der Einweisung in Technik Umgang mit Erfahrungswissen
4-2 Kompetenzen und Fertigkeiten	Sozialkompetenz
	Methodenkompetenz
	Problemlösekompetenz
	Kreativitätspotential
	Elaborationspotential
	Emotionale Stabilität
	Zeichnen- und Skizzierfertigkeiten
	Auffassungsgabe
	Heuristische Kompetenzen
	Durchsetzungsvermögen
	Konzepte der Kunden-Entwickler Kommunikation
4-3 Individuelle Denk- und Arbeitsweise	Vorhandensein agiler/SE Basiskompetenzen
	Diversität in der Mitarbeiterzusammenstellung
	Abstimmung von Arbeitsweisen an agil und nicht-agil bzw SE und nicht SE Abteilungsschnittstellen
4-4 Persönlichkeitsmerkmal	Selbstverständnis der Teammitglieder
	Grad des Commitment des Teams
	Form der Zusammenarbeit aller Beteiligten
	Länge der Kommunikationswege im Team
	Verfügbarkeit von Kollegen
	Grad des Wissensaustausches im Team
	Überzeugung vom Methodeinsatz
	Aufgeschlossenheit gegenüber neuen Methoden
	Umgang miteinander
	Erwartungshaltung gegenüber agilen/SE Arbeitsweisen
	Ausprägung von Höflichkeit und Zuvorkommenheit
	Veränderungsbereitschaft und Leidensdruck
	Vorhandensein des Gefühls von Verwaltungsmehraufwand
	Transparenz ohne Gefühl der Bevormundung
	Verbreitung des Bewusstseins für den Bedarfe agiler/SE Arbeitsweisen
4-5 Motivation und Emotionen	Grad an Motivation und Experimentierfreude
	Gefühl der Selbstbestimmung und Einflussnahme
	Relevanz von Mut, Offenheit und Selbstvertrauen
	Relevanz von Anerkennung und Würdigung von Arbeit
4-6 Leistungsvermögen	Entwicklung der Mitarbeiterperformance
4-7 Arbeitsergebnisse	Ausprägung der Wahrnehmung, dass Ergebnisse ein kollektives Eigentum des Entwicklerteams sind
4-8 Integrations- und Kooperationsvermögen	Umgang mit Verantwortung und Verpflichtung
	Selbstorganisation der Verantwortlichkeiten
	Verständnis der Prämissen für Handlungsfähigkeit
	Verständnis für die Zielsetzung anderer
	Umgang mit Teamerfolg und persönlichem Interessen

Ebene Individuum (Trost, 2020, 184ff.)

Anhang F

Sammlung operativer Elemente

SPALTEN	User viewings
Situationsanalyse	Reflection workshops
Problemeingrenzung	4W-Method
Alternative Lösungen	Problem definition
Lösungsauswahl	Personas
Tragweitenanalyse	Customer Empathy Map
Entscheiden	User Journey
Nachbereiten	User Interview
PLT (Problemlöseteams)	Storytelling
KIS (Kontinuierlicher Ideenspeicher)	Jobs to be done
IC (Informationscheck)	Heaven and hell
Erweitertes ZHO-Modell	What great Brands do
Aktivitäten der Produktentstehung	Brainwriting
Produktprofil	Idea description
Geschäftsmodell im Modell der PGE	Elevator Pitch
Baukästen	Prototyping
Modell der PGE	Faciliated workshops
Referenzsystem	MoSCoW-Priorization
Variationsarten	Time Boxing
Risikoportfolio der PGE	Endgame
C&C ² Ansatz	Consume your own output
Analyse & Synthese in der Konstruktion	Community involvement
Hypothesenbildung	Milestone first
Sequenzmodell	Early incremental planning

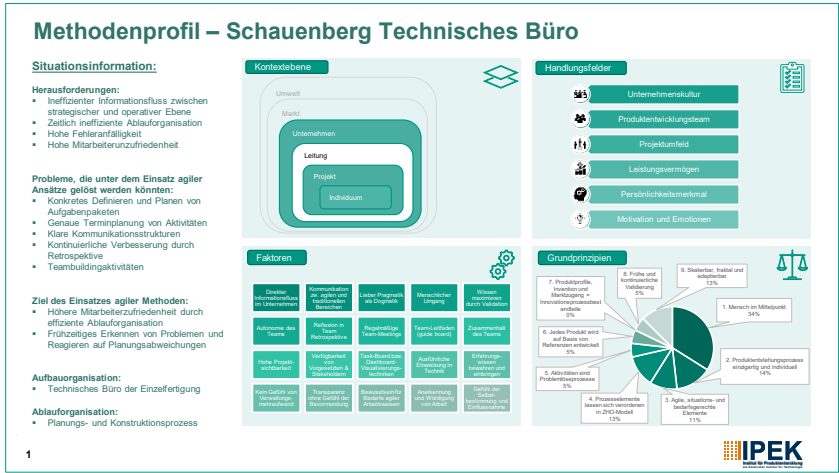
Anhang F

Show me don't tell me	Short/small releases
Rapid Prototyping	Planning Game
IPEK XIL (X in the Loop) Ansatz und Framework	Metaphor
Modellbildung der Umwelt in XIL	Refactoring
Ersatzsystem für Umwelt und Anwendenden	40-hour week
Ansatz zur Reduktion von Störgrößeneinflüssen bei Usability-Aspekten	On-site customer
Testumgebung für die Ableitung von Konstruktionszielgrößen	Open workspace
Validierung	Just rules
Pull-Prinzip der Validierung	Domain object modeling
XR Validierung	Developing by feature
MBSE in der Validierung (Model based systemengineering)	Feature Teams
Innofox	Inspection
Innobandit	Progress reporting
Pitch 2.0	Requirements Analysis and Disambiguation
2DR	Domain Analysis
Zukunftsorientierte Produktentwicklung durch strategische Potentialfindung	Frequent small releases
Kopplungsmodell	Agile planning
ETWA (Erweiterter Target Weighing Ansatz)	Responsibility ownership / collective responsibility
Explorative CAx Methode	Optimizing team communication
Aufbau V-Umgebung	Manage requirements
Komfortobjektivierung	Use components
Visualize the workflow	Model visually

Limit work in progress (WIP)	Verify quality
Manage and measure flow	Control changes
Make explicit policies	Product Backlog
Feedback Implementation / Feedback loops	Effort estimation
Inkrementell	Sprint
Iteration	Sprint planning meeting
User involvement	Sprint Backlog
Test-driven development (TDD)	Daily scrum meeting
Lean documentation	Sprint Review meeting
Continuous integration	Defintion of Done (DoD)
Daily Standup Meeting	Defintion of Ready (DoR)
Daily development status tracking online	Minimal viable product
Short sprint cycle	Agile coaching
Retrospective	Four Level Framework for StakeholderIdentification
Active stakeholder participation	Burn-down chart
Collective Ownership	Burn-up chart
Single source information	Brainstorming
Create several models in parallel	Planning Poker
Simple Design	Backlog refinement
Depict models simply	Story Splitting
Use the simplest tools	Analytic hierarchy process (AHP)
Display models publicly	Binary Search Tree (BST)
Iterate to another artefact	Cost-value ranking
Staging	Cumulative Voting
Revision and review	Kano Model
Monitoring	Pair wise analysis
Parallelism and flux	Quality Functional Deployment
Holistic diversity strategy	Value oriented prioritization (VOP)

Anhang G

Methodenprofil und -Steckbrief Stahlbau Schauenberg GmbH



Zusatz

Faktoren

Hohe Projektsichtbarkeit	Es sollte eine hohe Projektsichtbarkeit angestrebt werden, also eine gute Übersichtbarkeit von Phasen und Aktivitäten, sowie dem aktuellen Stand des Projekts, der Aufgaben, Ziele, Informationen, des Zeitplans, der Kosten, Ressourcenzuordnung etc. Diese können jederzeit einsehen werden von Teammitgliedern und Stakeholdern. Eine hohe Projektsichtbarkeit minimiert das Risiko, dass das Projekt nicht richtig adressiert oder erreicht wird.
Hohe Verfügbarkeit von Vorgesetzten und Stakeholder	Die Wartezeit bis Vorgesetzte und Stakeholder Rückmeldung auf Anfragen, wie bspw. Mails geben, sollte im Allgemeinen sehr kurz sein. Längere Antwortzeiten bewirken häufig, dass sich die Aufmerksamkeit und der Fokus einer Person während der Wartezeit ändert. Durch kurze Wartezeiten wird schnelleres und fokussiertes Arbeiten an der aktuellen Thematik bzw. Problematik gewährleistet.
Task-Board bzw. Dashboard-Visualisierungstechniken	Das Erstellen sollte Möglichkeiten zur Visualisierung der anstehenden Aufgaben besitzen, zur Unterstützung anfallender Bedürfnisse. Das kann beispielsweise durch ein sogenanntes "Agile-Board" geschehen, zu dem webbasierter Zugriff auf ein digitales Task-Board mit Kanban-System (JIRA oder Pivotal), Whiteboard oder andere kognitiver Dashboard-Visualisierungstechniken. Die Visualisierung sorgt für ordnungsgemäße Kommunikation zwischen den beteiligten Parteien, um die Qualität des Endprodukts sicherzustellen. Es hilft bei der Koordination von bspw. Freigabeanforderungen, Zeitplan, Aufgaben von Arbeits.
Ausführliche Einweisung in Technik	Das Entwicklungsteam bzw. die Teammitglieder sind technisch gut geschult, also bspw. gut im Umgang mit Tools, Maschinen und Software. Somit besitzt das Team einen großen Handlungsspielraum und damit großes Potential in Bezug auf erfolgreiche Analyse und Synthese entscheidender Elemente.
Erfahrungswissen bewahren und einbringen	Agilität soll Erfahrungswissen und individuelles Vorgehen nicht aufweichen oder erwarten. Individuelles Vorgehen und Erfahrung bringen Planungssicherheit und diese aufzuweichen würde dem Wunsch nach Sicherheit widersprechen.
Kein Gefühl von Verwaltungsaufwand	Das Empfinden der Mitarbeiter sollte nicht sein, dass Agilität gleichbedeutend ist mit mehr Bürokratie. Wenn ein erhöhter Verwaltungsaufwand aus Perspektive der Mitarbeiter rückgemeldet wird, ist dieser zu identifizieren und abzubauen.
Transparenz ohne Gefühl der Bevormundung	Mitarbeiter dürfen sich durch die Offenlegung ihrer Arbeit, z.B. durch den kommunikativen, geregelten und regelmäßigen Austausch auf Daily Scrums nicht bevormundet fühlen, als Experte weniger anerkannt oder gar als Verleugungsverstärker. Der Austausch von bspw. Entwicklungsgedanken darf nicht als Überwachung oder Kontrolle erlebt werden oder einen Rechtfertigungsdruck gegenüber dem Team auslösen. Vor allem bei erfahrenen Mitarbeitern und "systemischen Entdeckern" (Personen die nach abgewogener Erfahrung in Anspruch nehmen, zu wissen, was sie tun) muss dem negativen Gefühl der Einschränkung der Privatsphäre entgegengewirkt werden, da es häufig als eine Art Gängelung oder Nötigung empfunden wird. Es ist wichtig dass die Mitarbeiter die Offenlegung ihrer Arbeit als Chance sehen.
Unternehmensweites Bewusstsein für Bedarfe agiler Arbeitsweisen	Da bei nicht agil arbeitenden Abteilungen meist das Commitment zu agilen Projekten und Arbeitsweisen nicht vorhanden ist, muss dort dennoch ein Verständnis und Bewusstsein herrschen für die Bedarfe agil arbeitender Teams, sodass die agilen Teams nicht beeinträchtigt werden, wenn die verschiedenen Arbeitsweisen aufeinandertreffen und gegenseitig Rücksicht genommen werden kann.
Anerkennung und Würdigung von Arbeit	Es ist wichtig, dass die Arbeit der Mitarbeiter anerkannt wird und ein gutes Gefühl entsteht, sodass "man sieht, was man geschafft hat". So soll sich bspw. der Entwickler eines Teilsystems mit den Ergebnissen und dem Fortschritt des erschaffenen Gesamtsystems komplett identifizieren können. Für die langfristige und übergreifende Motivation für die agile Arbeitsweisen sollten Erfolgsstories kommuniziert werden.
Gefühl der Selbstbestimmung und Einflussnahme	Die Mitarbeiter haben das Gefühl, dass ihr Job sehr bedeutsam ist, dass sie ihre eigene Entscheidung treffen können und dass ihr Verhalten sich auf die organisatorischen Ergebnisse auswirkt. Bei den Mitarbeitern soll ein Gefühl der Befähigung gestärkt werden. Dadurch fühlen sich Mitarbeiter motivierter und gehen mit mehr Selbstvertrauen an die Arbeit.

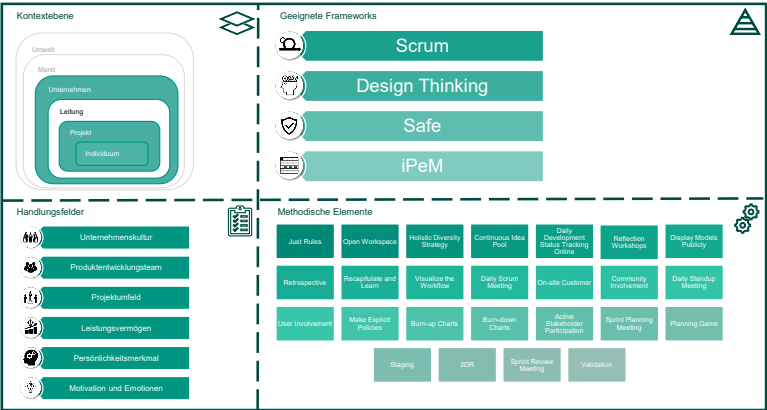
3

Zusatz

Grundprinzipien

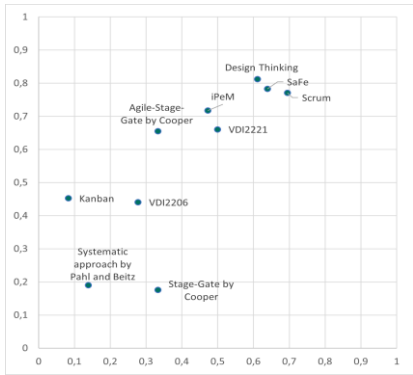
<input type="checkbox"/>	Der Mensch steht im Zentrum der Produktentstehung
<input type="checkbox"/>	Jeder Produktentstehungsprozess ist einzigartig und individuell
<input type="checkbox"/>	Für eine situations- und bedarfsgerechte Unterstützung in jedem Entwicklungsvorhaben müssen Denkweisen, Methoden und Prozesse skalierbar, fraktal und adaptierbar sein
<input type="checkbox"/>	Jedes Prozesselement (bspw. Ziele, Randbedingungen, Methoden etc.) lässt sich im ZHO-Modell (bestehend aus: Handlungssystem, Zielsystem, Objektsystem) verorten und jede Aktivität basiert auf den Grundoperatoren Analyse und Synthese
<input type="checkbox"/>	Jedes Produkt wird auf Basis von Referenzen entwickelt Agile, situations- und bedarfsgerechte Kombination strukturierender und flexibler Elemente
<input type="checkbox"/>	Alle Aktivitäten der Produktentwicklung sind als Problemlösungsprozess zu verstehen
<input type="checkbox"/>	Frühe und kontinuierliche Validierung dient dem kontinuierlichen Abgleich zwischen Problem und dessen Lösung
<input type="checkbox"/>	Jedes Produkt wird auf Basis von Referenzen entwickelt
<input type="checkbox"/>	Produktprofile, Invention und Marktzugang bilden die notwendigen Bestandteile des Innovationsprozesses

4



Geeignete Frameworks		Erklärung
Scrum	Scrum ist ein agiles Vorgehensmodell. Es beschreibt die Produktentwicklung als einen iterativen, zyklischen Prozess, bei dem während des Entwicklungsprozesses kontinuierlich Validierungen durchgeführt werden. Das ermöglicht eine kontinuierliche Integration von Anforderungen entlang des Entwicklungsprozesses und damit eine angemessene Anpassung an sich ändernde Bedingungen.	
Design Thinking	Design Thinking ist ein Prozessmodell, das sich darauf konzentriert, Innovationen zu schaffen, die benutzerorientiert sind und die Bedürfnisse des Benutzers befriedigen.	
Safe	Safe ist ein Framework zur agilen Skalierung.	
iPeM	Das Integrierte Produktentstehungsmodell (iPeM) ist ein generisches Metamodell der Produktentstehung mit dem Ziel, situationspezifische Prozessmodelle der Produktentwicklung unter Berücksichtigung der Anforderungen, Aktivitäten, Ergebnisse, Methoden und der Interdependenzen abzuleiten.	

Empirische Darstellung der Eignung der vorgestellten Frameworks




Legende:
X-Achse: Güte der Eignung hinsichtlich der ausgewählten ASD-Prinzipien
Y-Achse: Güte der Eignung hinsichtlich der ausgewählten Handlungsfelder

Methodische Elemente + Eignungsskalenwert [0-1]	Erklärung
Just Rules	0,78 Wenn Sie einem Extremteam angehören, verpflichten Sie sich, die Regeln zu befolgen. Aber das sind nur die Regeln. Das Team kann die Regeln jederzeit ändern, solange es sich darüber einig ist, wie es die Auswirkungen der Änderung bewerten will.
Open Workspace	0,77 Ein offener Arbeitsbereich kann die Kommunikation und Zusammenarbeit verbessern.
Holistic Diversity Strategy	0,70 Ganzheitliche Diversitätsstrategie ist die Aufteilung großer funktionaler Teams in funktionsübergreifende Gruppen. Der Grundgedanke dabei ist, mehrere Fachgebiete in einem einzigen Team zu vereinen.
Continous Idea Pool	0,69 Ein kontinuierlicher Ideenpool dient als Speicher für Ideen, die während des Prozesses kontinuierlich gesammelt werden. So gehen die Ideen nicht verloren und das Team kann jederzeit darauf zugreifen.
Daily Development Status Tracking Online	0,64 Die tägliche Verfolgung des Entwicklungsstatus bedeutet, dass der Entwicklungsprozess täglich überwacht wird. Auf diese Weise können Probleme erkannt und Maßnahmen zur Verbesserung des Prozesses und der Produktivität geplant werden.
Reflection Workshop	0,63 Der Reflexions-Workshop ist ein Format zur Verbesserung, indem auf die vergangene Arbeitsweise und Ergebnisse zurückgeblickt wird und aufgrund dessen Änderungsmaßnahmen durchgeführt werden.
Display Models Publicly	0,63 Modelle öffentlich auszustellen bedeutet, sie auf sogenannten "Modeling Walls" zu zeigen. Auf diese Weise sind aktuelle Modelle für das Team schnell zugänglich und unterstützen eine ehrliche und offene Kommunikation.
Retrospective	0,63 Die Sprint-Retrospektive ist eine Gelegenheit für das Scrum-Team, sich selbst zu überprüfen und einen Plan für Verbesserungen zu erstellen, die im nächsten Sprint umgesetzt werden sollen.
Recapitulate and Lean	0,63 Rekapitulieren und lernen bedeutet, den Prozess zu reflektieren und Wissen daraus zu extrahieren und es für spätere Zwecke zu dokumentieren.
Visualize the Workflow	0,60 Eine Visualisierung des Workflows verschafft Ihnen einen Überblick und ein besseres Verständnis für die aktuell durchgeführten Arbeiten. Sie ermöglicht es Ihnen, Probleme zu erkennen, Verbesserungsbedarf abzuleiten und den Prozess zu optimieren.

Methodische Elemente + Eignungsskalenwert [0-1]		Erklärung	
Daily Scrum Meeting	0,59	Das Daily Scrum ist ein 15-minütiges, zeitlich begrenztes Ereignis für das Entwicklungsteam. Das Daily Scrum findet an jedem Tag des Sprints statt. Bei ihm plant das Development Team die Arbeit für die nächsten 24 Stunden. Dies optimiert die Zusammenarbeit und Leistung des Teams, indem die Arbeit seit dem letzten Daily Scrum überprüft und die anstehende Arbeit im Sprint prognostiziert wird.	
On-site Customer	0,59	Kunde vor Ort bedeutet, dass der Kunde immer für Ihr Team verfügbar ist. Kunden, die zu fast vollständig vor Ort sind, können Ihr Team jederzeit mit Informationen versorgen und Ihnen bei der Lösung von Problemen helfen - sie werden Teil des Teams.	
Community Involvement	0,59	Die Einbeziehung der Gemeinschaft bedeutet, dass die Gemeinschaft einen Beitrag leisten kann, was unter anderem zu einem höheren Maß an Transparenz führt.	
Daily Standup Meeting	0,59	Ein Daily Standup-Meeting ist eine kurze organisatorische Besprechung, die jeden Tag stattfindet, bei dem das Projektteam in einem kompakten Format (ca. 15 Minuten) seine Arbeit koordiniert. Das Daily findet immer zur gleichen Uhrzeit & am gleichen Ort statt. Jedes Teammitglied teilt den anderen mit, welche Aufgaben am Vortag bearbeitet wurden, welche Aufgaben heute anstehen und welche Hindernisse im Team gelöst werden müssen.	
User Involvement	0,59	Die Einbindung der Benutzer konzentriert sich auf die Beteiligung der Benutzer in jeder Entwicklungsphase, was zu einem höheren Grad an Benutzerzufriedenheit und Vertrauen führt.	
Make Explicit Policies	0,59	Richtlinien sind Vorgaben, die beschreiben, wie die Arbeit ausgeführt werden sollte. Die Festlegung expliziter Richtlinien hilft Ihnen, Stabilität in der Ausführung Ihres Projekts und Ihrer Prozesse zu schaffen.	
Burn-up Charts	0,54	Burn-UP Charts visualisieren die geleistete Arbeit.	
Burn-down Charts	0,54	Burn-Down-Charts visualisieren die verbleibende Arbeit.	
Active Stakeholder Participation	0,54	Aktive Stakeholder-Beteiligung beschreibt die Einbindung eines breiten Spektrums von Stakeholdern in Ihr Projekt. Sie ermöglicht einen effizienteren Informationsfluss, -austausch und -bereitstellung und macht Entscheidungen bezüglich der Anforderungen zeitnah und sachgerecht.	
Sprint Planning Meeting	0,53	Die im Sprint durchzuführende Arbeit wird beim „Sprint Planning“ geplant. Dieser Plan wird durch die gemeinschaftliche Arbeit des gesamten Scrum-Teams erstellt.	

5



Methodische Elemente + Eignungsskalenwert [0-1]		Erklärung	
Planning Game	0,53	Ein Planspiel ist eine Praxis, die den Kunden in den Planungsprozess einbezieht. Auf diese Weise kann ein höherer Grad an Verbindlichkeit und Informationsfluss bezüglich Anforderungen und Aufwand sichergestellt werden.	
Staging	0,53	Staging umfasst die Planung und Terminierung vor dem Sprint, der ein Inkrement produzieren soll.	
2DR	0,53	Das 2DR – „2 Days Result“ ist ein agiles Workshop-Konzept, das auf Scrum basiert. Es zielt darauf ab, innerhalb von zwei Tagen effektiv und effizient Ergebnisse zu erzielen.	
Sprint Review Meeting	0,43	Am Ende des Sprints wird ein Sprint Review abgehalten, um das Inkrement zu überprüfen und das Product Backlog bei Bedarf anzupassen.	
Validation	0,38	Validierung meint ursprünglich die Gültigkeitsprüfung einer Messmethode in der empirischen Sozialforschung, das heißt interviewt die Testresultate tatsächlich das erfassen, was durch den Test bestimmt werden soll. Übertragen auf technische Systeme ist hierunter die Prüfung zu verstehen, ob das Produkt für seinen Einsatzzweck geeignet ist bzw. den gewünschten Wert erzielt. Hier geht die Erwartungshaltung des Fachexperten und des Anwenders ein.	

6



Anhang H

Methodensteckbrief Scrum

Nach NG (2020, 53f.)

Scrum

Zweck

- Entwicklung, Bereitstellung und Aufrechterhaltung komplexer Produkte
- Iterative, schrittweise Entwicklung

Situation

- Komplexe adaptive Probleme
- Komplexität von Technologie, Markt und Umfeld
- Unvorhersehbarkeit
- Ständig wechselnde Anforderungen

Auswirkungen

- Erhöhung der Flexibilität / flexible Anpassung
- Steigerung der Reaktionsfähigkeit
- Erhöhung der Zuverlässigkeit
- Verbesserungen der Produktivität
- Iterativer und inkrementeller Wissenstransfer
- Management der Unvorhersehbarkeit
- Kontrolle des Risikos

Werkzeuge und unterstützende Methoden

- Abbrandtabellen
- Verbrennungsdiagramme - up
- Begriffsbestimmung von Done (DoD)
- Definition der Bereitschaft (DoR)
- Pokern planen

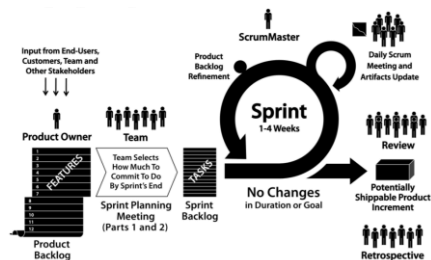
Rollen und Verantwortlichkeiten

Das Scrum - Team wird durch drei Rollen definiert, nämlich den Product Owner, das Entwicklungsteam und den Scrum Master:

- **Product Owner:** Der Product Owner verwaltet das Product Backlog und ist bestrebt, den Wert des Projekts zu maximieren. Er vertritt die Interessen aller Personen, die an dem Projekt und dem daraus resultierenden Produkt beteiligt sind.
- **Entwicklungsteam:** Das Entwicklungsteam ist eine funktionsübergreifende Gruppe von Personen, die sich selbst verwalten und in jedem Sprint ein Inkrement entwickeln. Die Größe des Entwicklungsteams sollte klein genug sein, um wenig zu bleiben, und groß genug, um in der Lage zu sein, in einem Sprint signifikante Arbeit abzuschließen.
- **Scrum Master:** Der Scrum Master ist für den Prozess, die korrekte Umsetzung und die Maximierung des Nutzens verantwortlich.

Verfahren

Scrum ist eine inkrementelle, iterative Methodik für die Entwicklung, Bereitstellung und Aufrechterhaltung komplexer Produkte. Durch einen iterativen zyklischen Prozess können komplexe adaptive Probleme angegangen und Produkte mit dem höchstmöglichen Wert produktiv und kreativ geliefert werden.



Sutherland, J., & Schwaber, K. (2011). The Scrum Papers: Not, Bobs, and Origins of an Agile Framework.

Der Scrum-Prozess ist wie folgt definiert:

Zunächst artikuliert der Product Owner die Vision, die sich schließlich zu einem **Product Backlog** entwickelt, einer priorisierten Liste von Anforderungen, die während der Lebensdauer des Produkts bestehen und sich ständig ändern. Der Product Owner, der die Interessen der Stakeholder vertritt und vom Entwicklungsteam beeinflusst wird, muss Entscheidungen über die Priorisierung des gesamten Spektrums treffen. Das Product Backlog enthält verschiedene **Elemente** wie neue Kundenfunktionen oder technische Verbesserungsziele und kann auf unterschiedliche Weise artikuliert werden, z. B. in Form von Use Cases oder User Stories.

Um ein angemessenes Product Backlog zu erstellen, muss ein **Product Backlog Refinement** durchgeführt werden, d. h. es müssen Details, Schätzungen und Reihenfolge der Elemente hinzugefügt werden. Das Product Backlog Refinement ist ein fortlaufender Prozess und eine Zusammenarbeit zwischen dem Product Owner und dem Entwicklungsteam, bei dem die Elemente überprüft und überarbeitet werden. Es sollte nicht mehr als 10 Prozent der Kapazität des Entwicklungsteams in Anspruch nehmen. Die Entscheidung darüber, wann eine Verfeinerung erforderlich ist, trifft das Entwicklungsteam.

Das **Release Backlog** ist die Teilmenge des Product Backlogs für das aktuelle Release und der Fokus des Product Owners.

Das Herzstück von Scrum ist ein so genannter **Sprint**. Ein Sprint ist ein Zeitfenster, in dem ein Inkrement erstellt wird. Die Dauer eines Sprints ist während des gesamten Entwicklungsprozesses gleichbleibend.

Ein **Inkrement** stellt die Summe der in einem Sprint abgeschlossenen Product Backlog Items dar.

Zu Beginn eines jeden Sprints wird die Arbeit, die innerhalb des Sprints erledigt werden soll, im so genannten **Sprint Planning Meeting** geplant. Das Sprint Planning Meeting ist ein Time - Boxed Meeting und dauert maximal acht Stunden für einen Sprint von einem Monat. Es wird vom Scrum Master geleitet, der sicherstellt, dass das Meeting stattfindet und innerhalb der Time - Box durchgeführt wird. Während des Sprint Planning Meetings sind die folgenden Fragen zu beantworten: *"Was kann in dem aus dem bevorstehenden Sprint resultierenden Inkrement geliefert werden?"*, *"Wie wird die zur Lieferung des Inkrements erforderliche Arbeit geleistet?"*.

Um zu bestimmen, was während des Sprints getan werden kann, arbeitet das Entwicklungsteam an der Vorhersage der Funktionalität, die im Sprint entwickelt wird, und der Product Owner bespricht das Sprint-Ziel und ob die Product Backlog-Elemente, wenn sie im Sprint implementiert werden, das Sprint-Ziel erfüllen würden. Das Sprint Goal stellt das Ziel des Sprints dar, das durch die Umsetzung des Product Backlogs erreicht werden soll, und dient als Orientierung.

Auf der Grundlage des Sprint-Ziels und der für den Sprint ausgewählten Product Backlog-Elemente entscheidet das Entwicklungsteam, wie die ausgewählten Elemente während des Sprints implementiert und ein Inkrement erstellt werden sollen. Die ausgewählten Product-Backlog-Elemente für den Sprint sowie der Lieferplan werden als **Sprint Backlog** bezeichnet.

Während des Sprints wird jeden Tag ein **Daily Scrum** abgehalten. Dabei handelt es sich um ein 15-minütiges, zeitlich begrenztes Ereignis, bei dem das Entwicklungsteam seine Arbeit überprüft und synchronisiert und sich gegenseitig über Hindernisse informiert. Das Daily Scrum kann eine Diskussion sein oder auf Fragen basieren, die wie folgt lauten könnten: *"Was habe ich gestern getan, das dem Entwicklungsteam geholfen hat, das Sprint Goal zu erreichen?"*, *"Was werde ich heute tun, um dem Entwicklungsteam zu helfen, das Sprint Goal zu erreichen?"*, *"Sehe ich irgendein Hindernis, das mich oder das Entwicklungsteam daran hindert, das Sprint Goal zu erreichen?"*. Der Scrum Master stellt sicher, dass das Daily Scrum stattfindet und 15 Minuten dauert, aber das Meeting selbst wird vom Entwicklungsteam durchgeführt.

Am Ende jedes Sprints findet ein vierstündiges Treffen statt, das **Sprint Review** genannt wird, um das entwickelte Inkrement zu überprüfen und das Product Backlog bei Bedarf anzupassen. Das Scrum Team und die Stakeholder arbeiten zusammen und diskutieren darüber, was im Sprint gemacht wurde. Dazu werden in der Regel die fertiggestellten Product Backlog Items vorgestellt und Möglichkeiten, Erkenntnisse, Einschränkungen und nächste Schritte zur Wertoptimierung besprochen. Der Scrum Master stellt sicher, dass das Meeting stattfindet und innerhalb der Time - Box gehalten wird.

Die **Sprint-Retrospektive** ist ein zeitlich begrenztes Treffen, das drei Stunden für einen einmonatigen Sprint dauert. Sie findet nach dem Sprint Review Meeting und vor dem nächsten Sprint Planning Meeting statt. In der Sprint Retrospektive inspiziert sich das Scrum Team selbst und diskutiert, was im nächsten Sprint geändert und verbessert werden könnte.

Anhang I

Mögliche Kriterien zur Erfolgsmessung

Heimicke, Mellert & Albers, 2020

Rentabilität

- 1) Geschätzter Nettogegenwartswert
- 2) Eingespartes Geld durch optimierten (Produktions-)Prozess in definiertem Zeitraum
- 3) Geschätzter Gewinn innerhalb eines definierten Zeitraums

Team Qualität

- 4) Zeit, die benötigt wird, um das Projekt oder Teilsystem an geänderte, neu definierte oder neue Prioritäten anzupassen
- 5) Effizienz bei der Lösung von auftretenden Problemen und Gesamtzahl
- 6) Kenntnis der aktuellen Themen und Probleme jedes Teammitglieds und Zeit, bis ein Problem oder Hindernis erkannt und allgemein bekannt ist (Transparenz)
- 7) Funktionsübergreifende Ebene / Fähigkeit, die Abwesenheit eines anderen Teammitglieds zu kompensieren oder zu unterstützen
- 8) Stimmung / Fröhlichkeit des Projektteams
- 9) Zeit, in der im "Flow" ohne Störungen an den richtigen Themen gearbeitet wird
- 10) Team-Velocity auf Basis von Effort/Story-Points nach Zeit
- 11) Gesamtzykluszeit von der Idee bis zum Release (Kundenlösung)
- 12) Zykluszeit zum Testen, Freigeben und Verteilen bereits entwickelter neuer Funktionen
- 13) Genauigkeit der Aufwandsabschätzung für bestimmte Aufgaben
- 14) Verfügbare Zeit, um kreative und innovative Lösungen zu finden oder strategisch zu arbeiten
- 15) Zeit, die benötigt wird, um einen Prozess mit offensichtlichen Verbesserungspotenzialen anzupassen und zu verfolgen
- 16) Anteil der Rückfragen aufgrund unklarer Rückstände an den abgearbeiteten Rückständen

Produkt / Features

- 17) Earned Value des Gesamtwerts (Erfüllung der Anforderungen)
- 18) Abweichung von den Soll-Produktionskosten
- 19) Erfüllungsgrad der Zielanwendung(en) (Kundenzufriedenheit)
- 20) Zeit, die benötigt wird, um nützliches Feedback von Kunden oder Stakeholdern zu erhalten
- 21) Anzahl der bekannten Hebelbereiche oder Anpassungen
- 22) Umfang der Einbeziehung von Stakeholdern

Zeit / Kosten

- 23) Aufgewandtes Budget des Gesamtbudgets
- 24) Verwendete Projektzeit der Gesamtprojektzeit
- 25) Erreichbarkeit des nächsten Meilensteins pro Arbeitspaket in der geplanten Projektzeit (Restaufwand/Wert)
- 26) Zeitbedarf für die Planung der Gesamtentwicklung

Anhang J

Interviewleitfäden zur Methodikevaluation

Siehe Czech (2021, 105ff.)

Interviewleitfaden 1

1. Evaluierung der Rahmenbedingungen

- In welcher Funktion arbeiten Sie im Unternehmen? Beschreiben Sie bitte Ihre Rolle. (Teilnehmer, Organisator, Professor etc.)
- Beschreiben Sie Ihre Rolle im Entwicklungsprozess?
- Wie viel Berufserfahrung haben Sie in diesem Bereich?
- Welche Kompetenzen im Bereich Agilität besitzen die späteren Anwender der Methode?

2. Erhebung der Situation im Entwicklungskontext

- Beschreiben Sie bitte den Entwicklungsprozess im Anwendungsfall.
- Welche Herausforderungen sehen Sie aktuell in Ihrem Projekt?
- Was sind Ihrer Ansicht nach Probleme, die unter dem Einsatz agiler Ansätze gelöst werden könnten?
- Welches Ziel verfolgen Sie unter der Anwendung agiler Ansätze unabhängig von den genannten Problemen?
- An welchen Kriterien möchten Sie den Erfolg der Anwendung eines agilen Ansatzes messen?

3. Situationsanalyse und Problemanpassung

- Bitte wählen sie eine bis max. 2 Kontextebenen aus
- Bitte führen Sie einen Paarweisen-Vergleich mit den Handlungsfeldern der ausgewählten Kontextebene(n) durch.
- Der Algorithmus erstellt Ihnen daraufhin ein Ranking.
Bitte wählen Sie davon 3 bis max. 6 Handlungsfelder aus.

4. DSII Fragen (Schwerpunkt: Anwendbarkeit)

1. Mir fällt es leicht, meinen Anwendungsfall in die Kontextebenen einzuordnen.

☐ ich stimme nicht zu ☐ ich stimme eher nicht zu ☐ ich stimme eher zu ☐ ich stimme zu

2. Mir fällt es leicht, meinen Anwendungsfall mit den Handlungsfeldern abzubilden.

☐ ich stimme nicht zu ☐ ich stimme eher nicht zu ☐ ich stimme eher zu ☐ ich stimme zu

3. Mir fällt es leicht, die Handlungsfelder zu priorisieren.

☐ ich stimme nicht zu ☐ ich stimme eher nicht zu ☐ ich stimme eher zu ☐ ich stimme zu

4. Die priorisierten Handlungsfelder spiegeln die Bereiche in meinem Anwendungsfall wider, in denen ich die größten Verbesserungspotentiale sehe.

☐ ich stimme nicht zu ☐ ich stimme eher nicht zu ☐ ich stimme eher zu ☐ ich stimme zu

Interviewleitfaden 2

- 1. Es fiel mir leicht, aus den vorgeschlagenen Faktoren für meinen Anwendungsfall geeignete Stellgrößen zu identifizieren.**

☐ ich stimme nicht zu ☐ ich stimme eher nicht zu ☐ ich stimme eher zu ☐ ich stimme zu

- 2. Die Faktoren spiegeln in meinen Augen diejenigen wider, die man als erstes optimieren sollte, um eine Verbesserung in meinem Anwendungsfall zu erzielen.**

☐ ich stimme nicht zu ☐ ich stimme eher nicht zu ☐ ich stimme eher zu ☐ ich stimme zu

- 3. Die gewichteten Grundprinzipien geben in meinen Augen eine geeignete Richtung vor, in der wir Agilität in unserem Anwendungsfall implementieren sollten.**

☐ ich stimme nicht zu ☐ ich stimme eher nicht zu ☐ ich stimme eher zu ☐ ich stimme zu

- 4. Ich finde das Vorgehen von der Auswahl der Kontextebenen über die Handlungsfelder bis hin zu den Faktoren und der Gewichtung der Grundprinzipien sinnvoll, um das Ziel für die Einführung agiler Ansätze zu schärfen.**

☐ ich stimme nicht zu ☐ ich stimme eher nicht zu ☐ ich stimme eher zu ☐ ich stimme zu

- 5. Nach der Auswahl der Kontextebene, der Handlungsfelder, der Faktoren und der Gewichtung der Grundprinzipien verstehe ich unsere Ausgangssituation und die Zielsetzung besser als vorher.**

☐ ich stimme nicht zu ☐ ich stimme eher nicht zu ☐ ich stimme eher zu ☐ ich stimme zu

- 6. Ich sehe einen Sinn darin, zunächst unsere individuelle Zielsetzung für den Einsatz agiler Elemente zu verstehen, bevor wir agile Elemente in unseren Anwendungskontext einführen.**

☐ ich stimme nicht zu ☐ ich stimme eher nicht zu ☐ ich stimme eher zu ☐ ich stimme zu

7. Mir hat die Methodenanwendung Spaß gemacht.

☐ ich stimme nicht zu ☐ ich stimme eher nicht zu ☐ ich stimme eher zu ☐ ich stimme zu

8. Die Methode ist viel zu komplex.

☐ ich stimme nicht zu ☐ ich stimme eher nicht zu ☐ ich stimme eher zu ☐ ich stimme zu

9. Ich habe die Schritte und Handhabung der Methoden als intuitiv empfunden.

☐ ich stimme nicht zu ☐ ich stimme eher nicht zu ☐ ich stimme eher zu ☐ ich stimme zu

10. Die Durchführung der Methode hat mir zu lange gedauert.

☐ ich stimme nicht zu ☐ ich stimme eher nicht zu ☐ ich stimme eher zu ☐ ich stimme zu

11. Ich fand die Durchführungsdauer hinsichtlich des Erkenntnisgewinns angemessen.

☐ ich stimme nicht zu ☐ ich stimme eher nicht zu ☐ ich stimme eher zu ☐ ich stimme zu

12. Ich hätte mir in der Methodendurchführung noch folgendes gewünscht:

13. Ich finde das Methodenprofil übersichtlich gestaltet.

☐ ich stimme nicht zu ☐ ich stimme eher nicht zu ☐ ich stimme eher zu ☐ ich stimme zu

14. Am Methodenprofil gefällt mir sehr gut:

15. Am Methodenprofil würde ich folgendes ändern:

Interviewleitfaden 3

1. Die methodischen Elemente passen für mich zum Anwendungsfall.

☐ ich stimme nicht zu ☐ ich stimme eher nicht zu ☐ ich stimme eher zu ☐ ich stimme zu

2. Ich kann mir gut vorstellen, dass mit Hilfe der vorgeschlagenen methodischen Elemente genannte Herausforderungen und Probleme aktiv angegangen werden können.

☐ ich stimme nicht zu ☐ ich stimme eher nicht zu ☐ ich stimme eher zu ☐ ich stimme zu

3. Die vorgeschlagenen methodischen Elemente passen aus meiner Sicht zu meinen ausgewählten Kontextebenen.

☐ ich stimme nicht zu ☐ ich stimme eher nicht zu ☐ ich stimme eher zu ☐ ich stimme zu

4. Die vorgeschlagenen methodischen Elemente passen aus meiner Sicht zu meinen ausgewählten Handlungsfeldern.

☐ ich stimme nicht zu ☐ ich stimme eher nicht zu ☐ ich stimme eher zu ☐ ich stimme zu

5. Die vorgeschlagenen methodischen Elemente passen aus meiner Sicht zu meinen ausgewählten Faktoren.

☐ ich stimme nicht zu ☐ ich stimme eher nicht zu ☐ ich stimme eher zu ☐ ich stimme zu

6. Die vorgeschlagenen Frameworks passen aus meiner Sicht sehr gut zu meinem Anwendungskontext.

☐ ich stimme nicht zu ☐ ich stimme eher nicht zu ☐ ich stimme eher zu ☐ ich stimme zu

7. Die vorgeschlagenen methodischen Elemente passen aus meiner Sicht sehr gut zu meinem Anwendungskontext.

☐ ich stimme nicht zu ☐ ich stimme eher nicht zu ☐ ich stimme eher zu ☐ ich stimme zu

8. Es fiel mir leicht ein passendes Framework auszuwählen.

☐ ich stimme nicht zu ☐ ich stimme eher nicht zu ☐ ich stimme eher zu ☐ ich stimme zu

9. Es fiel mir leicht passende methodische Elemente auszuwählen.

☐ ich stimme nicht zu ☐ ich stimme eher nicht zu ☐ ich stimme eher zu ☐ ich stimme zu

10. Ich hätte mir noch die folgenden methodischen Elemente gewünscht:

11. Die Darstellung der jeweiligen Eignung der Frameworks hat mir bei meiner Auswahl des Frameworks geholfen.

☐ ich stimme nicht zu ☐ ich stimme eher nicht zu ☐ ich stimme eher zu ☐ ich stimme zu

12. Um die zur Auswahl stehenden Frameworks noch besser zu verstehen hätte ich mir bei der Darstellung noch folgendes gewünscht:

Beobachtungsfragebogen

- 1. Welche methodischen Elemente werden dem Anwender zur Verfügung gestellt?**
- 2. Wie gründlich wenden die Probanden die agile Projektmanagementmethode an?**
- 3. Die Probanden nehmen sich für die Anwendung der agilen Projektmanagementmethode ausreichend Zeit?**
☐ ich stimme nicht zu ☐ ich stimme eher nicht zu ☐ ich stimme eher zu ☐ ich stimme zu
- 4. Die Probanden können ihre Planung schnell mit der agilen Projektmanagementmethode umsetzen?**
☐ ich stimme nicht zu ☐ ich stimme eher nicht zu ☐ ich stimme eher zu ☐ ich stimme zu
- 5. Die Probanden können ihre Visionen und Aufgaben mit Hilfe der agilen Projektmanagementmethode leicht darstellen?**
☐ ich stimme nicht zu ☐ ich stimme eher nicht zu ☐ ich stimme eher zu ☐ ich stimme zu
- 6. Die Anwendung der agilen Projektmanagementmethode ist für die Probanden intuitiv.**
☐ ich stimme nicht zu ☐ ich stimme eher nicht zu ☐ ich stimme eher zu ☐ ich stimme zu
- 7. Die Probanden wenden die agile Projektmanagementmethode aus Eigeninitiative an.**
☐ ich stimme nicht zu ☐ ich stimme eher nicht zu ☐ ich stimme eher zu ☐ ich stimme zu
- 8. Die Probanden sind der Anwendung der agilen Projektmanagementmethode positiv gegenüber eingestellt.**
☐ ich stimme nicht zu ☐ ich stimme eher nicht zu ☐ ich stimme eher zu ☐ ich stimme zu
- 9. Die Probanden nehmen die Anwendung der agilen Projektmanagementmethode als Unterstützung war.**
☐ ich stimme nicht zu ☐ ich stimme eher nicht zu ☐ ich stimme eher zu ☐ ich stimme zu

10. Den Probanden kommen während der Anwendung der agilen Projektmanagementmethode viele Fragen auf.

☐ ich stimme nicht zu ☐ ich stimme eher nicht zu ☐ ich stimme eher zu ☐ ich stimme zu

11. Die Probanden sind durch die Anwendung mehr im Austausch.

☐ ich stimme nicht zu ☐ ich stimme eher nicht zu ☐ ich stimme eher zu ☐ ich stimme zu

12. Die Anwendung der agilen Projektmanagementmethode unterstützt sichtbar agile Arbeitsweisen.

☐ ich stimme nicht zu ☐ ich stimme eher nicht zu ☐ ich stimme eher zu ☐ ich stimme zu

13. Die agile Projektmanagementmethode unterstützt die Probanden zu Beginn definierte Ziele nicht aus den Augen zu verlieren.

☐ ich stimme nicht zu ☐ ich stimme eher nicht zu ☐ ich stimme eher zu ☐ ich stimme zu

14. Die agile Projektmanagementmethode wird von den Probanden vollständig genutzt.

☐ ich stimme nicht zu ☐ ich stimme eher nicht zu ☐ ich stimme eher zu ☐ ich stimme zu

15. Die agile Projektmanagementmethode wird von den Probanden richtig genutzt.

☐ ich stimme nicht zu ☐ ich stimme eher nicht zu ☐ ich stimme eher zu ☐ ich stimme zu

16. Gab es Elemente im Prozess, die sich mit Hilfe der agilen Projektmanagementmethode von den Probanden gut darstellen ließen?

17. Gab es Elemente im Prozess, bei denen sich die agile Projektmanagementmethode eher weniger gut anwenden ließ?

18. Gab es Probleme bei der Anwendung der agilen Projektmanagementmethode?

19. Bei welchen Aspekten muss nachgeschärft werden?

20. Sonstige Anmerkungen zur Anwendung der agilen Projektmanagementmethode durch Probanden:

Fragebogen für Methodenanwender

Bitte beantworten Sie die nachfolgenden Fragen im Hinblick auf die Arbeit mit der Ihnen zu Verfügung gestellten Projektmanagementmethode.

A. Fragen zur Einschätzung Ihrer Person

1. Ich kenne agile Arbeitsmethoden.

☐ ich stimme nicht zu ☐ ich stimme eher nicht zu ☐ ich stimme eher zu ☐ ich stimme zu

2. Ich habe in meinem Berufsleben bisher schon mit agilen Methoden gearbeitet.

☐ ich stimme nicht zu ☐ ich stimme eher nicht zu ☐ ich stimme eher zu ☐ ich stimme zu

3. Ich finde die Verwendung von agilen Projektmanagementmethoden sinnvoll.

☐ ich stimme nicht zu ☐ ich stimme eher nicht zu ☐ ich stimme eher zu ☐ ich stimme zu

B. Fragen zu Ihrer Arbeitsweise

An dieser Stelle zwischen 5 bis 7 anwendungsfallsspezifische Fragen, die darauf abzielen zu hinterfragen, ob die Mechanismen der Methode die eingangsgenannten Herausforderungen lösen.

C. Anwendbarkeit der agilen Projektmanagementmethode

4. Ich habe mich in dem zur Verfügung gestellten agilen Projektmanagementmethode schnell zurechtgefunden.

☐ ich stimme nicht zu ☐ ich stimme eher nicht zu ☐ ich stimme eher zu ☐ ich stimme zu

5. Die Bedienung des agilen Projektmanagementmethode war für mich intuitiv.

☐ ich stimme nicht zu ☐ ich stimme eher nicht zu ☐ ich stimme eher zu ☐ ich stimme zu

6. Die Anwendung der Methode dauert mir zu lange.

☐ ich stimme nicht zu ☐ ich stimme eher nicht zu ☐ ich stimme eher zu ☐ ich stimme zu

7. Ich erkenne den Sinn und Zweck der Anwendung der agilen Projektmanagementmethode.

☐ ich stimme nicht zu ☐ ich stimme eher nicht zu ☐ ich stimme eher zu ☐ ich stimme zu

8. Die agile Projektmanagementmethode unterstützt mich bei der täglichen Projektarbeit.

☐ ich stimme nicht zu ☐ ich stimme eher nicht zu ☐ ich stimme eher zu ☐ ich stimme zu

9. Die agile Projektmanagementmethode fördert das agile Arbeiten im Team.

☐ ich stimme nicht zu ☐ ich stimme eher nicht zu ☐ ich stimme eher zu ☐ ich stimme zu

10. Ohne die Anwendung der agilen Projektmanagementmethode könnte ich mich genauso gut organisieren.

☐ ich stimme nicht zu ☐ ich stimme eher nicht zu ☐ ich stimme eher zu ☐ ich stimme zu

11. Die agile Projektmanagementmethode hilft mir nicht den Überblick zu verlieren.

☐ ich stimme nicht zu ☐ ich stimme eher nicht zu ☐ ich stimme eher zu ☐ ich stimme zu

12. Ich kann meine Planung schnell mit der agilen Projektmanagementmethode umsetzen.

☐ ich stimme nicht zu ☐ ich stimme eher nicht zu ☐ ich stimme eher zu ☐ ich stimme zu

13. Ich kann meine Visionen und Aufgaben mit Hilfe der agilen Projektmanagementmethode leicht darstellen.

☐ ich stimme nicht zu ☐ ich stimme eher nicht zu ☐ ich stimme eher zu ☐ ich stimme zu

14. Die agile Projektmanagementmethode unterstützt mich bei dem Erreichen des Aufgabenziels.

☐ ich stimme nicht zu ☐ ich stimme eher nicht zu ☐ ich stimme eher zu ☐ ich stimme zu

15. Ich habe mich in der agilen Projektmanagementmethode jeder Zeit zurechtgefunden.

☐ ich stimme nicht zu ☐ ich stimme eher nicht zu ☐ ich stimme eher zu ☐ ich stimme zu

D. Ihre Meinung zu der agilen Projektmanagement-Methode.

16. Gab es in Ihrem Arbeitsalltag Themen, die sich mit Hilfe der agilen Projektmanagementmethode gut darstellen ließen?

17. Gab es in Ihrem Arbeitsalltag Themen, bei denen sich die agilen Projektmanagementmethode eher weniger gut anwenden ließ?

**18. Gab es Probleme bei der Anwendung der agilen Projektmanagementmethode?
Wenn ja, welche?**

19. An dieser Stelle ist Platz für weiteres Feedback zu der agilen Projektmanagementmethode:

Interviewleitfaden 4

1. Wir haben unseren Handlungsspielraum durch die neue Methode erhöht und den Umgang mit geänderten Anforderungen beschleunigt.

- ☐ ich stimme nicht zu ☐ ich stimme eher nicht zu ☐ ich stimme eher zu ☐ ich stimme zu
☐ nicht relevant für den Anwendungskontext

2. Unter Anwendung der neuen Methode haben wir unseren Umgang mit Komplexität verbessert.

- ☐ ich stimme nicht zu ☐ ich stimme eher nicht zu ☐ ich stimme eher zu ☐ ich stimme zu
☐ nicht relevant für den Anwendungskontext

3. Unter Anwendung der neuen Methode haben wir die Kunden intensiver in den Entwicklungsprozess integriert.

- ☐ ich stimme nicht zu ☐ ich stimme eher nicht zu ☐ ich stimme eher zu ☐ ich stimme zu
☐ nicht relevant für den Anwendungskontext

4. Mit Hilfe der neuen Methode haben wir die Kundenzufriedenheit gesteigert.

- ☐ ich stimme nicht zu ☐ ich stimme eher nicht zu ☐ ich stimme eher zu ☐ ich stimme zu
☐ nicht relevant für den Anwendungskontext

5. Mit Hilfe der neuen Methode haben wir den Produktentwicklungsprozess verbessert.

- ☐ ich stimme nicht zu ☐ ich stimme eher nicht zu ☐ ich stimme eher zu ☐ ich stimme zu
☐ nicht relevant für den Anwendungskontext

6. Mit Hilfe der neuen Methode haben wir die Ergebnisqualität verbessert.

- ☐ ich stimme nicht zu ☐ ich stimme eher nicht zu ☐ ich stimme eher zu ☐ ich stimme zu
☐ nicht relevant für den Anwendungskontext

7. Mit Hilfe der neuen Methode arbeiten wir selbstorganisierter.

- ☐ ich stimme nicht zu ☐ ich stimme eher nicht zu ☐ ich stimme eher zu ☐ ich stimme zu
☐ nicht relevant für den Anwendungskontext

8. Mit Hilfe der neuen Methode haben wir unsere Produktivität gesteigert.

- ☐ ich stimme nicht zu ☐ ich stimme eher nicht zu ☐ ich stimme eher zu ☐ ich stimme zu
☐ nicht relevant für den Anwendungskontext

9. Unsere [Herausforderungen] haben wir mit Hilfe der methodischen Elemente lösen können.

☐ ich stimme nicht zu ☐ ich stimme eher nicht zu ☐ ich stimme eher zu ☐ ich stimme zu

10. In unseren [Problembereichen] haben wir uns mit dem Einsatz der neuen Methode verbessert.

☐ ich stimme nicht zu ☐ ich stimme eher nicht zu ☐ ich stimme eher zu ☐ ich stimme zu

11. Unser Ziel konnte mit Hilfe der agilen Arbeitsmethodik, die wir situationsbezogen zur Verfügung gestellt bekommen haben, erreicht werden.

☐ ich stimme nicht zu ☐ ich stimme eher nicht zu ☐ ich stimme eher zu ☐ ich stimme zu

12. [Kriterium], an dem wir den Erfolg des agilen Ansatzes messen wollten, konnte mit Hilfe der neuen Methode gesteigert/ verbessert werden.

☐ ich stimme nicht zu ☐ ich stimme eher nicht zu ☐ ich stimme eher zu ☐ ich stimme zu

13. Der Abstimmungszeitaufwand beim Arbeiten mit der neuen Methode ist geringer als vorher bei der klassischen Arbeitsweise.

☐ ich stimme nicht zu ☐ ich stimme eher nicht zu ☐ ich stimme eher zu ☐ ich stimme zu

14. Die neue Methode passt zu mir und meinen Aufgaben.

☐ ich stimme nicht zu ☐ ich stimme eher nicht zu ☐ ich stimme eher zu ☐ ich stimme zu

15. Die methodischen Richtlinien im Rahmen der neuen Methode empfinde ich als komplex.

☐ ich stimme nicht zu ☐ ich stimme eher nicht zu ☐ ich stimme eher zu ☐ ich stimme zu

16. Durch die Einführung der neuen Methode sind mehr Probleme entstanden als gelöst wurden.

☐ ich stimme nicht zu ☐ ich stimme eher nicht zu ☐ ich stimme eher zu ☐ ich stimme zu

17. Ich bin zufrieden mit der neuen Arbeitsweise.

☐ ich stimme nicht zu ☐ ich stimme eher nicht zu ☐ ich stimme eher zu ☐ ich stimme zu

18. Das Team hält sich strikt an die Prozess-/Meeting-Vorgaben, die im Rahmen der neuen Methode eingeführt wurden/werden.

☐ ich stimme nicht zu ☐ ich stimme eher nicht zu ☐ ich stimme eher zu ☐ ich stimme zu

19. Die Unternehmens/Projektkultur & -struktur ist die gleiche wie vor der Umstellung auf die neue Methode.

☐ ich stimme nicht zu ☐ ich stimme eher nicht zu ☐ ich stimme eher zu ☐ ich stimme zu

20. Ich kann nachvollziehen, dass wir unsere Arbeitsweise umgestellt haben.

☐ ich stimme nicht zu ☐ ich stimme eher nicht zu ☐ ich stimme eher zu ☐ ich stimme zu

21. Der Weg einer Anforderung ins Team hat sich durch die neue Methode nicht geändert.

☐ ich stimme nicht zu ☐ ich stimme eher nicht zu ☐ ich stimme eher zu ☐ ich stimme zu

22. Mir macht es Spaß, agil zu arbeiten.

☐ ich stimme nicht zu ☐ ich stimme eher nicht zu ☐ ich stimme eher zu ☐ ich stimme zu

23. Die methodischen Richtlinien für den verwendeten neuen Arbeitsansatz sind für mich klar.

☐ ich stimme nicht zu ☐ ich stimme eher nicht zu ☐ ich stimme eher zu ☐ ich stimme zu

24. Bei der neuen Methode empfinde ich die Kooperation zwischen dem Management/Product Owner und dem Team als besser.

☐ ich stimme nicht zu ☐ ich stimme eher nicht zu ☐ ich stimme eher zu ☐ ich stimme zu

25. Durch Arbeiten mit der neuen Methode haben wir uns in völliges Chaos gestürzt.

☐ ich stimme nicht zu ☐ ich stimme eher nicht zu ☐ ich stimme eher zu ☐ ich stimme zu

26. Die Transparenz der neuen Methode ermöglicht einen leichteren Überblick über die Leistung von Teammitgliedern.

☐ ich stimme nicht zu ☐ ich stimme eher nicht zu ☐ ich stimme eher zu ☐ ich stimme zu

27. Durch die Einführung von der neuen Methode hat sich die Festlegung der Entwicklungsziele in die Verantwortung des Teams verschoben.

☐ ich stimme nicht zu ☐ ich stimme eher nicht zu ☐ ich stimme eher zu ☐ ich stimme zu

28. Ich verstehe die Relevanz & Bedeutung von agilem Arbeiten im modernen Arbeitsumfeld.

☐ ich stimme nicht zu ☐ ich stimme eher nicht zu ☐ ich stimme eher zu ☐ ich stimme zu

29. Die leichtere Kontrolle der Arbeitsleistung finde ich gut.

☐ ich stimme nicht zu ☐ ich stimme eher nicht zu ☐ ich stimme eher zu ☐ ich stimme zu

30. Die neue Methode passt nicht zu unserem Unternehmen/ Projektrahmen.

☐ ich stimme nicht zu ☐ ich stimme eher nicht zu ☐ ich stimme eher zu ☐ ich stimme zu

31. Selbstorganisierte & crossfunktionale Teams finde ich gut.

(crossunktional = Das Team besitzt alle notwendigen Fähigkeiten zur Entwicklung des Produkts)

☐ ich stimme nicht zu ☐ ich stimme eher nicht zu ☐ ich stimme eher zu ☐ ich stimme zu

32. Mich interessiert, wie wir uns kontinuierlich verbessern können.

☐ ich stimme nicht zu ☐ ich stimme eher nicht zu ☐ ich stimme eher zu ☐ ich stimme zu

33. Ich stehe Veränderungen auf der Arbeit eher skeptisch gegenüber.

☐ ich stimme nicht zu ☐ ich stimme eher nicht zu ☐ ich stimme eher zu ☐ ich stimme zu

34. Das Team arbeitet selbstorganisiert und selbstbestimmt.

☐ ich stimme nicht zu ☐ ich stimme eher nicht zu ☐ ich stimme eher zu ☐ ich stimme zu

35. Der Entwicklungsprozess hat durch die neue Methode an Struktur verloren.

☐ ich stimme nicht zu ☐ ich stimme eher nicht zu ☐ ich stimme eher zu ☐ ich stimme zu

36. Die neuen Prozessabläufe wurden auf das Unternehmen angepasst.

☐ ich stimme nicht zu ☐ ich stimme eher nicht zu ☐ ich stimme eher zu ☐ ich stimme zu

37. Die neue Methode hat viele Probleme der klassischen Arbeitsweise gelöst.

☐ ich stimme nicht zu ☐ ich stimme eher nicht zu ☐ ich stimme eher zu ☐ ich stimme zu

38. Mit Hilfe der Systematik waren wir in der Lage eine neue Methode zu entwickeln mit der wir unsere Herausforderungen lösen konnten.

☐ ich stimme nicht zu ☐ ich stimme eher nicht zu ☐ ich stimme eher zu ☐ ich stimme zu

39. Die methodischen Elemente haben mich bei meiner Projektarbeit aktiv unterstützt.

☐ ich stimme nicht zu ☐ ich stimme eher nicht zu ☐ ich stimme eher zu ☐ ich stimme zu

40. Die Systematik hat mich dabei unterstützt, unsere eigene Situation und das Ziel der Veränderung zu erfassen, wodurch es möglich war, eine zu uns passende Veränderung zu bewirken.

☐ ich stimme nicht zu ☐ ich stimme eher nicht zu ☐ ich stimme eher zu ☐ ich stimme zu

41. Die Anwendung der Systematik hat uns bei der agilen Transformation unseres Anwendungskontexts unterstützt.

☐ ich stimme nicht zu ☐ ich stimme eher nicht zu ☐ ich stimme eher zu ☐ ich stimme zu

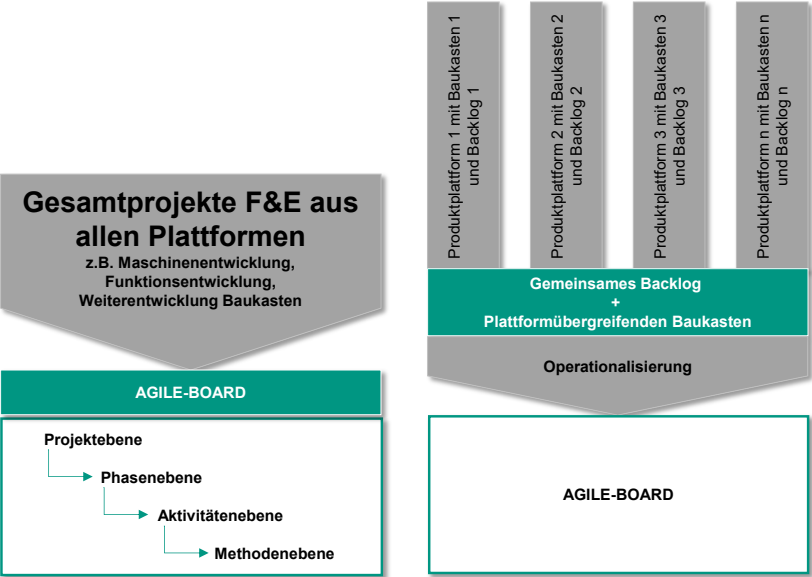
42. Ich würde Anwendern, die ebenfalls eine agile Transformation anstreben, die Anwendung der Methode weiterempfehlen.

☐ ich stimme nicht zu ☐ ich stimme eher nicht zu ☐ ich stimme eher zu ☐ ich stimme zu

Anhang K

Prozesslösung Fallstudie 3

Abbildungen: Siehe K. KAISER (2019)



Aussage 1

Der entwickelte Ansatz trägt zur Steigerung des agilen Mindset bei.

Wertung



0
2
5

Aussage 2

Der entwickelte Ansatz hilft dabei, Produkte im Kontext einer agilen plattformübergreifenden Baukastenentwicklung strukturiert zu entwickeln.

Wertung



0
1
6

Aussage 3

Der entwickelte Ansatz operationalisiert das plattformübergreifende Backlog der Organisationsstruktur.

Wertung



0
0
7

Anhang L

Organisationsstruktur bei der Stahlbau Schauenberg GmbH

Siehe NATALE (2021)

