

**Band
401**

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

Lukas Bretz

Rahmenwerk zur Planung und Einführung von Systems Engineering und Model-Based Systems Engineering

Lukas Bretz

Rahmenwerk zur Planung und Einführung von Systems Engineering und Model-Based Systems Engineering

Framework for the introduction of systems engineering and model-based systems engineering

Bibliografische Information Der Deutschen Bibliothek

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

Band 401 der Verlagsschriftenreihe des Heinz Nixdorf Instituts

© Heinz Nixdorf Institut, Universität Paderborn – Paderborn – 2021

ISSN (Print): 2195-5239

ISSN (Online): 2365-4422

ISBN: 978-3-947647-20-0

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

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

Satz und Gestaltung: Lukas Bretz

Geleitwort

Der Ansatz Systems Engineering (SE) zur erfolgreichen Realisierung komplexer technischer Systeme ist der gemeinsame Kern des Forschungsschwerpunkts Advanced Systems Engineering am Heinz Nixdorf Institut und dem damit verbundenen Fraunhofer-Institut für Entwurfstechnik Mechatronik IEM in Paderborn.

Im Angesicht immer stärker vernetzter Intelligenter Technischer Systeme steigen die Anforderungen an Entwicklungsprozesse und -ansätze. Ganzheitliches Denken und interdisziplinäres Zusammenwirken sind die Erfolgsfaktoren von morgen. Da Systems Engineering in der Forschung und Industrie immer mehr Aufmerksamkeit erfährt, wird die Leistungsfähigkeit des Systems Engineerings immer weiter verbessert. Jedoch wird dabei oft übersehen, dass der erfolgreiche Transfer des Ansatzes in die industrielle Anwendung selbst eine komplexe Angelegenheit ist. Insbesondere ist unklar, wie das notwendige Change Management gemeinsam mit der fachlichen Komplexität einer SE-Einführung integrativ berücksichtigt werden kann.

Vor diesem Hintergrund hat Herr Bretz ein Rahmenwerk zur Planung und Einführung von Systems Engineering und Model-Based Systems Engineering erarbeitet. Er unterstützt den Prozess der Einführung von Systems Engineering und Model-Based Systems Engineering vom Aufsetzen des Einführungsprojekts bis zur Verstetigung. Kern der Arbeit ist ein Vorgehensmodell, das die Einführung in vier Phasen unterteilt: Initialisierung, Planung, Umsetzung sowie Rollout und Verstetigung. Das Rahmenwerk stellt darüber hinaus für jede Phase dedizierte Hilfsmittel zur Unterstützung bereit. Besonders hervorzuheben ist das Reifegradmodell. Die Validierung des Rahmenwerks erfolgt anhand eines Planspiels, in welchem das Vorgehen für das fiktive Unternehmen ConWhirl vollständig durchlaufen wird.

Mit seiner Arbeit hat Herr Bretz einen wertvollen Beitrag zur Etablierung von Systems Engineering im industriellen Umfeld geleistet. Das Rahmenwerk zeichnet sich u. a. durch seine Praxisrelevanz aus und fügt sich in das Forschungsfeld des Advanced Systems Engineerings im Heinz Nixdorf Institut und dem Fraunhofer IEM ein. Ich wünsche Herrn Bretz weiterhin viel Erfolg bei der Einführung von Systems Engineering.

Paderborn, im Oktober 2021

Prof. Dr.-Ing. Roman Dumitrescu

Rahmenwerk zur Planung und Einführung von Systems Engineering und Model-Based Systems Engineering

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

genehmigte
DISSERTATION

von
Lukas Helmut Bretz
aus Paderborn

Tag des Kolloquiums:

30. August 2021

Referent:

Prof. Dr.-Ing. Roman Dumitrescu

Korreferent:

Prof. Dr.-Ing. Jürgen Gausemeier

Korreferent:

Dr. ir. PDeng Maarten Bonnema

Vorwort

Die vorliegende Dissertation entstand während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Fraunhofer-Institut für Entwurfstechnik Mechatronik IEM. Sie ist das Ergebnis meiner wissenschaftlichen Arbeit im Rahmen von sowohl geförderten Forschungsprojekten als auch Industrieprojekten.

Mein herzlicher Dank gilt Herrn Prof. Dr.-Ing. Roman Dumitrescu, der mich stets forderte und förderte. Vielen Dank für Ihr Vertrauen und die große Freiheit selbständig und kreativ zu forschen. Die von Ihnen am Institut geprägte Arbeitsweise hat mich wesentlich geprägt.

Für die Übernahme des Korreferats danke ich Herrn Prof. Dr.-Ing. Jürgen Gausemeier, Seniorprofessor des Fachgebiets Strategische Produktplanung und Systems Engineering am Heinz Nixdorf Institut der Universität Paderborn sowie Dr. Ir. G. Maarten Bonnema von der Fakultät für Engineering Technology an der Universität Twente.

Allen Kollegen am Institut danke ich für die hervorragende Zusammenarbeit und das außergewöhnliche Arbeitsklima. Besonders hervorheben möchte ich Dr.-Ing. Christian Tschirner, Dr.-Ing. Lydia Kaiser, Dr.-Ing. Harald Anacker, M. Sc. Jörg Heihoff-Schwede, M. Sc. Marc Foullois und M. Sc. Ruslan Bernijazov, die mich durch unsere intensive Zusammenarbeit und Diskussionen im Themenfeld Systems Engineering im Allgemeinen und meiner Dissertation im Speziellen unterstützt haben. Ferner danke ich Lara Meyer und allen weiteren Studierenden, die mich bei meiner Arbeit durch ihre studentische Hilfstätigkeit unterstützt haben.

Abschließend danke ich meiner Familie: meinen Eltern und meiner Frau für den vielen Rückhalt und ihr Vertrauen in meine Fähigkeiten. Bernd und Marlene, ihr habt früh die Weichen gestellt, die mich an diesen Punkt geführt haben. Katharina, du hast mich auf dem Weg begleitet, geerdet und viel Verständnis und Geduld mitgebracht.

Paderborn, im Oktober 2021

Lukas Bretz

Zusammenfassung

Die steigende Komplexität technischer Systeme führt zu wachsenden Herausforderungen im Rahmen der Produktentwicklung. In der Industrie werden Systems Engineering (SE) und Model-Based Systems Engineering (MBSE) als vielversprechende Entwicklungsansätze der Zukunft gesehen. Trotz zum Teil großer Bemühungen kämpfen Industrieunternehmen bei der Einführung beider Ansätze jedoch mit vielfältigen Herausforderungen, welche sowohl aus der fachlichen Komplexität als auch aus den weitreichenden Veränderungen durch die Einführung resultieren.

Zur *Einführung von Systems Engineering und Model-Based Systems Engineering* wird daher ein *Rahmenwerk* vorgestellt. Grundlage bilden ein Erklärungsmodell für die Produktentwicklung sowie mögliche Ziele einer Einführung von SE und MBSE. Kern des Rahmenwerks ist das Operationalisierungskonzept, welches ein Vorgehen zur Einführung bereitstellt. Das Rahmenwerk umfasst zudem Hilfsmittel, welche die Durchführung der einzelnen Schritte des Operationalisierungskonzepts unterstützen. Besonders hervorzuheben ist das Reifegradmodell zur Bestimmung von Ist- und Zielsituation.

Die Anwendung des Rahmenwerks erfolgt anhand des konstruierten Beispielunternehmens Conwhirl. An diesem Beispiel wird die Nutzung des Operationalisierungskonzepts mit allen bereitgestellten Hilfsmitteln dargestellt.

Summary

The increasing complexity of technical systems results in growing challenges in the context of product development. For the industry, systems engineering (SE) and model-based systems engineering (MBSE) are promising approaches for the future of product development. Despite great efforts, industrial companies often struggle with various challenges when introducing SE or MBSE. Those struggles result from both the technical complexity and the expected amount of change caused by the introduction.

Therefore, a *framework for the introduction of systems engineering and model-based systems engineering* is presented. It is based on an explanatory model for product development and possible goals for the introduction of SE and MBSE. The core of the framework is the operationalization concept which provides a procedure for the introduction of SE and MBSE. The framework also includes numerous tools that support the execution of the individual steps of the operationalization concept. The maturity model for determining the actual and target situation of the company is particularly noteworthy.

The application of the framework is shown on the constructed example enterprise Conwhirl. This application illustrates the use of the operationalization concept and all the tools provided within the framework.

Liste der veröffentlichten Teilergebnisse

- [BDA+15] BRETZ, L.; DUMITRESCU, R.; ALBERS, A. A.; TSCHIRNER, C.: Kollaborative Systemkonzipierung im interaktiven Entwicklungslabor. In: Mensch und Computer 2015 – Workshopband 15, De Gruyter Verlag, Oldenburg, 2015
- [TBD+15] TSCHIRNER, C.; BRETZ, L.; DUMITRESCU, R.; GAUSEMEIER, J.: Applying Model-Based Systems Engineering for Product Engineering Management – Concepts for Industrial Application. In: IEEE Systems Council (Hrsg.): 2015 IEEE International Symposium on Systems Engineering (ISSE), Rome, Italy, 2015
- [BTD16] BRETZ, L.; TSCHIRNER, C.; DUMITRESCU, R.: A concept for managing information in early stages of product engineering by integrating MBSE and workflow management systems. In: Proceedings of IEEE ISSE 2016, Edinburgh, Scotland, pp.143-150
- [BKD19] BRETZ, L.; KAISER, L.; DUMITRESCU, R.: An analysis of barriers for the introduction of Systems Engineering. In: Procedia CIRP, 29th CIRP Design Conference 2019, 08-10 May 2019, Póvoa de Varzim, Portugal, pp. 783-789
- [HBK+19] HEIHOFF-SCHWEDE, J.; BRETZ, L.; KAISER, L.; DUMITRESCU, R.: An Explanatory Model as Basis for the Introduction of Systems Engineering and capable IT-Infrastructures in Industry. In: Proceedings of IEEE ISSE 2019, Edinburgh, Scotland
- [BKA+20] BRETZ, L.; KÖNEMANN, U.; ANACKER, H.; DUMITRESCU, R.: A contribution to the design of organizational structures suitable for Systems Engineering. In: Procedia CIRP, 30th CIRP Design Conference, Gauteng, Südafrika, 2020, Volume 91, pp. 101-106

Inhaltsverzeichnis	Seite
1 Einleitung	1
1.1 Problematik	1
1.2 Zielsetzung	3
1.3 Vorgehensweise	4
2 Problemanalyse	7
2.1 Komplexe technische Systeme.....	7
2.1.1 Von mechatronischen Systemen zu ITS.....	8
2.1.2 Komplexität technischer Systeme.....	10
2.2 Produktentwicklung	12
2.2.1 Große Unternehmen des produzierenden Gewerbes.....	13
2.2.2 Vorgehensmodelle der Produktentwicklung.....	16
2.2.3 Organisation der Produktentwicklung	21
2.2.4 Nutzung von Modellen in der Produktentwicklung.....	24
2.2.5 Herausforderungen der Produktentwicklung.....	25
2.3 Systems Engineering und Model-Based Systems Engineering.....	27
2.3.1 Kernaspekte des Systems Engineerings	27
2.3.2 Kernaspekte des Model-Based Systems Engineering.....	31
2.3.3 Mehrwert des SE und MBSE	36
2.3.4 Barrieren für die Einführung von SE und MBSE	37
2.4 Change Management.....	41
2.4.1 Arten von Veränderung	41
2.4.2 Umgang mit Veränderung.....	42
2.4.3 Change Management für die Produktentwicklung	46
2.4.4 Barrieren für Veränderungsprojekte	47
2.5 Problemabgrenzung	49
2.6 Anforderungen.....	51
3 Stand der Technik.....	53
3.1 Erklärungsmodelle.....	53
3.1.1 Produktgenerationenentwicklung nach ALBERS	53
3.1.2 The Open Group Architecture Framework.....	54
3.1.3 OMG SPEM 2.0.....	55
3.1.4 An extended Meta-model for workflow resource model.....	55
3.1.5 ISO/IEC/IEEE 42010	56

3.1.6	ZOPH-Modell.....	57
3.2	Reifegradmodelle für die Produktentwicklung	59
3.2.1	Capability Maturity Model Integration	59
3.2.2	Methode zur Leistungsbewertung und Leistungssteigerung der Mechatronikentwicklung nach BALÁZOVÁ	60
3.2.3	Reifegrade nach CHRISTIANSEN.....	62
3.2.4	MBSE Maturity Model nach VOGELSANG	63
3.3	Ansätze zur Einführung von Veränderungen	65
3.3.1	Change Management	65
3.3.1.1	Ansatz nach LEWIN	65
3.3.1.2	Ansatz nach KOTTER.....	66
3.3.1.3	Ansatz nach KRÜGER	67
3.3.1.4	Der MOTION Ansatz nach SCHUH	69
3.3.1.5	Change-Rollen nach CONNER	70
3.3.2	Ansätze zur Einführung von Systems Engineering.....	71
3.3.2.1	PLM-Basierte Einführung von SE nach GERHARDT....	71
3.3.2.2	Pilotbasierte Einführung von SE nach ALT.....	72
3.3.2.3	Systematik zur Ableitung bedarfsgerechter SE- Leitfäden.....	73
3.3.2.4	Pragmatisches Reifegradmodell zur SE-Einführung..	74
3.3.2.5	Implementing SE: A Step-By-Step Guide	75
3.3.3	Ansätze zur organisationalen Verankerung.....	76
3.3.3.1	Ansatz der Ambidextrie nach O'REILLY und TUSHMAN	76
3.3.3.2	Strategische Umorientierung nach BADEN-FULLER und VOLBERDA	76
3.4	Organisationskonzepte für das Systems Engineering	77
3.4.1	Formen von Organisationsstrukturen	77
3.4.2	SE-Rollen nach SHEARD	79
3.4.3	SE-Teams nach FRIEDENTHAL.....	80
3.5	Handlungsbedarf	80
4	Rahmenwerk zur Einführung von SE und MBSE	85
4.1	Struktur des Rahmenwerks	85
4.2	Grundlagen.....	86
4.2.1	Erklärungsmodell.....	86
4.2.2	Ziele für die Einführung von SE und MBSE	87
4.3	Operationalisierungskonzept	91
4.3.1	Einführung initialisieren	92
4.3.2	Einführung planen	93
4.3.3	Roadmap umsetzen	96
4.3.4	Rollout und Verstetigung	97

4.4	Reifegradmodell zur Einführung von SE und MBSE.....	97
4.4.1	Herleitung der Handlungselemente und Gestaltungsfelder	98
4.4.2	Zielbeitragsmatrix der Handlungselemente	99
4.4.3	Identifikation der Ist-Reifegrade.....	101
4.4.4	Definition der Zielreifegrade.....	107
4.5	Hilfsmittel zur Umsetzung des Operationalisierungskonzepts	110
4.5.1	Phasenübergreifende Hilfsmittel.....	111
4.5.2	Hilfsmittel zu Phase 1: Einführung initialisieren	113
4.5.3	Hilfsmittel zu Phase 2: Einführung planen	119
4.5.3.1	Motivationsansätze.....	119
4.5.3.2	Einführungsansatz.....	123
4.5.3.3	Ableitung von Maßnahmen.....	128
4.5.4	Hilfsmittel zu den Phasen 3 und 4: Umsetzung, Rollout und Verstetigung	133
4.5.4.1	Grundlagen.....	134
4.5.4.2	Übersicht wichtiger Rollen im Kontext SE	135
4.5.4.3	Archetypische SE-Organisationsstruktur	137
4.5.4.4	Organisationsstruktur-Baukasten	140
5	Anwendung des Rahmenwerks.....	145
5.1	Anwendungsbeispiels ConWhirl	145
5.1.1	Phase 1: Einführung initialisieren	145
5.1.2	Phase 2: Einführung planen	149
5.1.3	Phasen 3 und 4: Umsetzung, Rollout und Verstetigung	156
5.2	Bewertung anhand der Anforderungen an die Arbeit.....	158
6	Zusammenfassung und Ausblick	161

Anhang

A1	Zusammenhänge im Erklärungsmodell	A-1
A2	Systems Engineering Ziele	A-2
A2.1	Analysierte TdSE Beiträge	A-2
A2.2	Priorisierung der Ziele	A-4
A2.3	Beschreibung der Ziele der Zielpyramide	A-5
A3	Externalisierungsmöglichkeiten statt der SE-Einführung	A-10
A4	Steckbriefe Einführungsansätze	A-11

A5	Arten von Maßnahmen	A-14
A6	Operationalisierungskonzept	A-17
A7	Archetypische SE Aufbauorganisationen	A-21

1 Einleitung

Die vorliegende Arbeit entstand im Rahmen der Forschung am Fraunhofer-Institut für Entwurfstechnik Mechatronik (IEM), insbesondere im Rahmen des Spitzenclusters it's OWL¹ sowie interner Vorlauftforschung am IEM. Die erarbeiteten Ergebnisse wurden im Rahmen von Industrieprojekten in den Branchen Automotive, Hausgeräte und Maschinen- und Anlagenbau eingesetzt. Die aus dem praktischen Einsatz gewonnenen Erkenntnisse flossen wieder in die Arbeit ein.

“The world as we have created it is a process of our thinking. It cannot be changed without changing our thinking.” [Einstein]

1.1 Problematik

Komplexe technische Systeme werden zunehmend leistungsfähiger, der Wandel von mechanischen Systemen über **Mechatronik** hin zu **Intelligenten Technischen Systemen** (ITS) verdeutlicht dies [GAC+13], [TG18]. ITS gelten als adaptiv, robust, vorausschauend und benutzerfreundlich [Dum11], [GAC+13], [DIL+18]. Möglich wird dieser Wandel insbesondere durch den wachsenden Softwareanteil und der steigenden Vernetzung – sowohl innerhalb der Systeme als auch zwischen verschiedenen Systemen [Aca11]. Vernetzte ITS können vielfältige Anforderungen der Kunden lösen. Die resultierende Komplexität stellt die Produktentwicklung jedoch vor immer größeren Herausforderungen.

Eine innovative, **leistungsfähige Produktentwicklung** ist besonders für **große Unternehmen des produzierenden Gewerbes** von hoher Bedeutung. Hier dominieren bislang disziplinentorientierte Strukturen und **Vorgehensmodelle**. Weiterentwicklungen in diesen Bereichen sind zwar für einzelne Disziplinen notwendig, aber nicht hinreichend, um den Ansprüchen an die interdisziplinäre Entwicklung komplexer Systeme wie ITS gerecht zu werden [GCW+13], [ES05], [GLL12]. Es besteht daher Bedarf für ganzheitliche und interdisziplinäre Ansätze zur Systementwicklung. Der bisherige Mangel an Durchgängigkeit und Interdisziplinarität zeigt sich auch in historisch gewachsenen Strukturen der **Produktentwicklung in der Organisation**. Im Luftfahrzeugbau, neben der Rüstungsindustrie und großen Infrastrukturprojekten einem der ersten Anwendungsbereiche von Systems Engineering (SE) [Bud00], wird die Organisationsstruktur nach Systemen geschnitten [Faa08]. So gibt es beispielsweise Organisationseinheiten für das Zugangssystem, das Kraftstoffsystem oder das Hydrauliksystem. In anderen Branchen ist die Aufbauorganisation hingegen historisch gewachsen und disziplinentorientiert. Dies gilt auch für die Branchen Maschinen- und Anlagenbau und Automobiltechnik. Die resultierende Verortung

¹ it's OWL (Intelligente Technische Systeme OstWestfalenLippe) bezeichnet die aus dem Spitzencluster-Wettbewerb des BMBF entstandene Kooperation von Hochschulen, wissenschaftlichen Kompetenzzentren, Unternehmen und wirtschaftsnahen Organisationen in der Region Ostwestfalen-Lippe (OWL).

von Entwicklern² von Mechanik, Elektronik und Software in getrennten Organisationseinheiten stellt Unternehmen vor **Herausforderungen**, da der Bedarf zur interdisziplinären Entwicklung mit Ansätzen einzelner Disziplinen nicht zu lösen ist [ES05], [GLL12].

Diese Herausforderungen sind bereits lange bekannt, vielversprechende Ansätze zur Lösung sind **Systems Engineering** und Model-Based Systems Engineering (MBSE) [Inc15]. SE ist ein interdisziplinärer Entwicklungsansatz zur erfolgreichen Realisierung von Systemen [INC15]. Im Fokus steht das Systemdenken und die ganzheitliche, interdisziplinäre Betrachtung des gesamten Produktlebenszyklus [INC12]. **Model-Based Systems Engineering** ist eine jüngere Entwicklung innerhalb des SE. Wenngleich bereits im klassischen Systems Engineering Modelle zum Einsatz kommen, wird deren Nutzung erst mit MBSE formalisiert [Inc14]. Dabei wird ein sogenanntes Systemmodell als Kommunikations- und Kooperationsbasis zur interdisziplinären Zusammenarbeit in den Mittelpunkt der Entwicklung gestellt [FMS14], [GFD+09], [MS18]. Es handelt sich dementsprechend nicht um zwei grundsätzlich unterschiedliche Ansätze, sondern um einen Ansatz, der abhängig von der Formalisierung der Modellnutzung von klassischem SE hin zu MBSE wachsen kann. Insbesondere aus der Betrachtung des gesamten Lebenszyklus ergeben sich auch Abhängigkeiten zwischen SE, MBSE und Product Lifecycle Management (PLM), einem Ansatz zum Management aller Daten entlang des Produktlebenszyklus [CLL+13]. Bei erfolgreicher Anwendung verspricht SE zahlreiche **Mehrwerte** bei der interdisziplinären Zusammenarbeit. In der deutschen Industrie wird der Bedarf für SE durchgehend als hoch eingeschätzt, bei der Umsetzung zeigen sich jedoch klare Unterschiede zwischen verschiedenen Branchen. Insbesondere in der Fahrzeugindustrie und im Maschinen- und Anlagenbau gibt es noch erheblichen Verbesserungsbedarf [GDS+13], [BKD+19]. Branchenübergreifend sehen sich die meisten Unternehmen noch am Beginn der Einführung von SE [SBI+19].

Die Einführung von SE bzw. MBSE stellt viele Unternehmen vor große Herausforderungen; es existieren zahlreiche **Barrieren**. Diese ergeben sich aus den Eigenschaften großer Unternehmen selbst, der Komplexität des SE und aus den notwendigen Veränderungen. SE bzw. MBSE haben Einfluss auf diverse Aspekte eines Unternehmens, von Prozessen [ISO15288], Rollen [She96], [FMS14] und IT-Werkzeugen [FMS14], [Ger16] bis hin zu Denkweisen [HWF+12]. Für Anwender ist es anspruchsvoll, eine Übersicht über die bestehenden Ansätze zu erlangen, da diese unterschiedlichste Abstraktionsebenen ansprechen. Auf der einen Seite stehen Standards, die ganzheitlich sämtliche SE-Prozesse betrachten [ISO15288], auf der anderen Seite stehen Methoden und Werkzeuge, die sehr spezifische Aspekte detaillieren [RFB13]. Bei letzteren, zum Teil sehr technischen Betrachtungen, ist darüber hinaus die genaue Zielsetzung nicht zwingend eindeutig [Gaa10].

² Die Inhalte der vorliegenden Arbeit beziehen sich in gleichem Maße sowohl auf Frauen als auf Männer. Aus Gründen der besseren Lesbarkeit wird jedoch die männliche Form (Entwickler, Konstrukteur etc.) für alle Personenbezeichnungen gewählt. Die weibliche Form wird dabei stets mitgedacht.

Einige Entwicklungen sind nicht durch einen Bedarf getrieben, sondern durch Werkzeuge und das technisch Machbare. Die fehlende Orientierung für Unternehmen wird dadurch verstärkt, dass etablierte Ansätze lediglich die idealisierte Anwendung des jeweiligen Ansatzes beschreiben, nicht seine Motivation und Einführung. Dementsprechend sehen Experten besonders bei der Definition der Zielsetzung, der Einführungsstrategie, dem Überzeugen von Sponsoren und den nötigen Investitionen große Herausforderungen [CB18]. Die wenigen verfügbaren expliziten Ansätze zur Einführung von SE bieten nicht die notwendige Unterstützung. Sie betrachten jeweils lediglich Teilaspekte des SE, bleiben so generisch, dass sie wenig praktische Unterstützung liefern können [Ger16], [Alt12], [Inc12], [SES+16], [LAJ+06] oder adressieren explizit KMU spezifische Probleme [Sch19]. Diesen Mangel an Methoden zur Einführung von SE und MBSE bringen auch Unternehmen zum Ausdruck, er gilt als eines der zentralen Hindernisse zur erfolgreichen Einführung und Anwendung [GDS+13], [VAP+17].

Neben den genannten inhaltlichen Barrieren stellt auch die Umsetzung der Veränderung im Unternehmen ein eigenes Hindernis dar, da die Einführung von SE und MBSE mit besonders umfangreichen Veränderungen im Unternehmen einhergehen, z. B. an der Aufbau- und Ablauforganisation sowie der Kultur [Tro13-ol]. Hier wird zwischen dem Wandel erster und zweiter Ordnung unterschieden: Der Wandel erster Ordnung bezieht sich auf Veränderungen innerhalb eines bestehenden Bezugsrahmens, nach dem eine Organisation handelt [Sta14]. Der Wandel zweiter Ordnung betrifft das grundlegende Fundament der Organisation [LM89], [Krü94]. Beide Arten des Wandels können bei der Einführung von SE auftreten und diese erschweren. Da Menschen allgemein Stabilität bevorzugen, führen Veränderungen zu Abwehrreaktionen [Küb69], [Con06]. **Change Management** (CM) soll dabei unterstützen eine Veränderung trotz erwartbarer Widerstände erfolgreich und nachhaltig umzusetzen [Kot12], [Krü09], [DL14], wird in den bekannten SE-Einführungsansätzen aber häufig nicht ausreichend betrachtet.

Vor dem Hintergrund der dargestellten Problematik besteht ein Bedarf für ein *Rahmenwerk zur Einführung von Systems Engineering und Model-Based Systems Engineering*.

1.2 Zielsetzung

Ziel der Arbeit ist ein *Rahmenwerk zur Einführung von Systems Engineering und Model-Based Systems Engineering*. Das Rahmenwerk soll insbesondere große Unternehmen der Branchen Automotive, Hausgeräte und Maschinen- und Anlagenbau dazu befähigen, Systems Engineering erfolgreich im Sinne der unternehmensspezifischen Zielsetzung einzuführen. Dies umfasst die Planung und Durchführung des eigentlichen Einführungsprojekts ebenso wie die Planung einer späteren operativen SE gerechten Organisation. Es soll die Verantwortlichen für die Einführung von SE dabei unterstützen, die wesentlichen fachlichen und Change Management-seitigen Aspekte und Auswirkungen der Einführung zu planen und zu managen. Das Rahmenwerk soll folgende Elemente umfassen:

- Erklärungsmodell: Es soll erarbeitet werden, welche Aspekte einer Entwicklungsorganisation für die Einführung von SE und MBSE von besonderer Bedeutung sind. Dies soll Ausgangspunkt für ein klares Verständnis für den Umfang und die möglichen Auswirkungen der Einführung für alle an der Einführung Beteiligten sein. Zusätzlich sollen die möglichen Ziele einer Einführung von SE und MBSE identifiziert und bereitgestellt werden. Diese sollen später als Ausgangspunkt für die unternehmensspezifische Ausprägung des Einführungsprojekts dienen.
- Vorgehensmodell: Das Vorgehensmodell soll die Planung, Durchführung und Überwachung der Einführung unterstützen. Wichtig hierbei sind die Sicherstellung der integrierten Betrachtung von Change Management und der fachlichen Aspekte des SE und MBSE. Das Vorgehen soll die wichtigsten Aspekte der Einführung berücksichtigen und die bedarfsgerechte Auswahl und Einführung von SE und MBSE ermöglichen.
- Hilfsmittel: Das Rahmenwerk soll Hilfsmittel bereitstellen, die die einzelnen Phasen des Vorgehensmodells unterstützen. Relevant sind Hilfsmittel für die Themenfelder, die im Kontext der Einführung zwar wichtig sind, jedoch durch bestehende Ansätze zu wenig unterstützt werden. Insbesondere soll ein Hilfsmittel dabei unterstützen, die Ist-Situation und die Ziel-Situation für alle relevanten Aspekte des SE bzw. MBSE in konkreten Unternehmen zu identifizieren bzw. zu definieren. Bei der Definition der Ziel-Situation ist sicherzustellen, dass die gesetzten Ziele erreichbar und erstrebenswert sind.

Das Rahmenwerk soll Unternehmen zur Einführung und somit zur späteren produktiven Anwendung von SE und MBSE befähigen. Dabei soll auf bereits etablierte Ansätze zurückgegriffen werden. Das Rahmenwerk soll nicht SE oder MBSE selbst verbessern, sondern eine bessere Unterstützung zur Einführung geeigneter Ansätze bieten. Dabei soll sowohl die isolierte Einführung von SE als auch die integrierte Betrachtung von SE und MBSE unterstützt werden. Von besonderer Bedeutung ist die Betrachtung des Wechselspiels von fachlichen Erfolgen und Change Management. Die zur erfolgreichen Einführung notwendige Akzeptanz bei den Anwendern kann nur bei integrierter Betrachtung beider Aspekte erreicht werden.

1.3 Vorgehensweise

Die vorliegende Arbeit gliedert sich in 6 Kapitel. Nach der Einleitung im ersten Kapitel wird in **Kapitel 2** eine ausführliche **Problemanalyse** durchgeführt. Hierzu werden zunächst wesentliche Aspekte komplexer technischer Systeme diskutiert. Deren steigende Komplexität und Interdisziplinarität erfordern Veränderungen im Rahmen der Produktentwicklung. Daher wird im Anschluss das Handlungsfeld **Produktentwicklung** ausführlich diskutiert. Hierzu gehört eine Eingrenzung auf große Unternehmen typischer Branchen, Organisationsstrukturen und Vorgehensmodelle der Produktentwicklung, sowie resultierende Herausforderungen. **Systems Engineering** und Model-Based Systems

Engineering ermöglichen zwar die Lösung vieler dieser Herausforderungen der Produktentwicklung, um sie umzusetzen gilt es jedoch **Barrieren** zu überwinden. Diese werden anschließend erläutert. Ein Teil der Barrieren folgt aus der Größe der nötigen Veränderungen. Um diese handhaben zu können, werden die Grundzüge des **Change Managements** (CM) und damit verbundenen Herausforderungen vorgestellt. Die Ausarbeitung erlaubt die anschließende Problemabgrenzung, aus welcher die Anforderungen an das Rahmenwerk abgeleitet werden.

Kapitel 3 umfasst die Ergebnisse der Literaturrecherche zum **Stand der Technik**. Aufbauend auf der Problemabgrenzung werden zunächst **Erklärungsmodelle** vorgestellt, die den Anspruch haben, den Aufbau oder die Architektur von Unternehmen zu beschreiben. Im Folgenden werden **Reifegradmodelle** für die Produktentwicklung untersucht. Diesen fehlt größtenteils der konkrete Bezug zu SE und MBSE. Darüber hinaus werden Ansätze zur **Einführung von Veränderungen** vorgestellt, wobei zwischen drei Aspekten unterschieden wird: Change Management als Voraussetzung für die Sicherstellung der Akzeptanz von Veränderungen, Ansätze zur Einführung von SE sowie für die inhaltlichen Erarbeitung. Darüber hinaus werden **Organisationskonzepte** näher betrachtet. Die Struktur der Organisation ist im Kontext großer Organisationen von besonderer Bedeutung, wird bei bisherigen Einführungsansätzen aber kaum betrachtet. Der Stand der Technik wird abschließend anhand der Anforderungen an das Rahmenwerk bewertet und der Handlungsbedarf bestätigt.

Kern der Arbeit ist **Kapitel 4**, es umfasst die Bestandteile des Rahmenwerks. Den Ausgangspunkt für das Rahmenwerk bilden ein **Erklärungsmodell und Ziele** für die Einführung von Systems Engineering. Das **Operationalisierungskonzept** bietet ein vier Schritte umfassendes Vorgehen, welches insbesondere die Initialisierung und Detailplanung des Einführungsprojekts unterstützt, jedoch auch Ausarbeitung, Rollout und Verstetigung der SE und MBSE-Ansätze im Unternehmen diskutiert. Die Schritte im Vorgehensmodell werden durch **Hilfsmittel** und Informationen ergänzt. Für jede Phase des Operationalisierungskonzepts werden geeignete Hilfsmittel beschrieben und bereitgestellt. Besonders hervorzuheben ist das **Reifegradmodell** zur Einführung von SE und MBSE, welches sowohl bei der Standortbestimmung als auch bei der Planung der Zielsituation unterstützt.

Kapitel 5 zeigt anhand eines konstruierten **Anwendungsbeispiels** die Anwendbarkeit der Bestandteile des Rahmenwerks. Das Kapitel schließt mit einer Bewertung des Rahmenwerks hinsichtlich der Anforderungen aus Kapitel 2. **Kapitel 6** beinhaltet ein **Resümee**, sowie einen **Ausblick** auf zukünftige Forschungsfelder im Kontext der Einführung von SE und MBSE. Der **Anhang** enthält ergänzende Informationen, Steckbriefe, Details zu einzelnen Hilfsmitteln und Beispiele.

2 Problemanalyse

Ziel der Problemanalyse ist die Identifikation von Anforderungen an ein *Rahmenwerk zur Einführung von Systems Engineering und Model-Based Systems Engineering*. **Komplexe technische Systeme** als Treiber für den Bedarf zur Anwendung von SE werden in Kapitel 2.1 eingeführt. In Kapitel 2.2 werden hiervon ausgehend Strukturen und Abläufen in der **Produktentwicklung** sowie daraus resultierende Herausforderungen beschrieben. In Kapitel 2.3 werden mit Systems Engineering und Model-Based Systems Engineering zwei vielversprechende Ansätze zur Lösung dieser Herausforderungen vorgestellt. Dabei werden besonders Mehrwerte und **Barrieren** für die Einführung von SE und MBSE aufgezeigt.

Im Fokus der Arbeit steht die Einführung dieser beiden Ansätze. In Abschnitt 2.4 erfolgt daher eine kurze Einführung in das **Change Management**, das zur erfolgreichen Durchführung großer Veränderungen in Unternehmen notwendig ist. Auf dieser Basis erfolgt in Kapitel 2.5 die **Problemabgrenzung** und in Kapitel 2.6 die Ableitung von **Anforderungen** an das Rahmenwerk. Notwendige **Begriffe** werden vorab kurz definiert.

Begriffe

Das Verständnis der im Folgenden beschriebenen Begriffe wird in den jeweils zugehörigen Kapiteln hergeleitet und näher beschrieben. Die folgende Kurzbeschreibung dient lediglich der besseren Lesbarkeit der darauffolgenden Ausführungen.

Systems Engineering (SE) ist ein interdisziplinärer, ganzheitlicher Ansatz zur Realisierung komplexer technischer Systeme. Er basiert auf dem systemischen Denken und der frühzeitigen Betrachtung der Kundenbedarfe und betrachtet den gesamten Produktlebenszyklus [Inc15]. Für weitere Informationen siehe Kapitel 2.3.1.

Unter **Model-Based Systems Engineering (MBSE)** wird die formalisierte Nutzung von Modellen zur Unterstützung der Tätigkeiten des Systems Engineerings verstanden. Es stellt ein interdisziplinäres Systemmodell in den Mittelpunkt der Entwicklung [INC07-ol]. Für weitere Informationen siehe Kapitel 2.3.2.

Change Management soll sicherstellen, dass gewünschte Veränderungen in einer Organisation erfolgreich umgesetzt und von den Mitarbeitern getragen werden [DL14]. Unter Veränderung im Unternehmen kann ein im Zeitverlauf stattfindender Wandel von einem stabilen Zustand hin zu einem anderen stabilen Zustand verstanden werden [Pes10]. Für weitere Informationen siehe Kapitel 2.4.

2.1 Komplexe technische Systeme

Technische Systeme sind stark von den verfügbaren Technologien ihrer Zeit geprägt. So wurden in Fahrzeugen zu Beginn der 1970er Jahre etwa 90 % der Funktionen mechanisch gelöst [SB09]. Die vorhandene Komplexität ergab sich nahezu vollständig innerhalb der

Disziplin- und Fahrzeuggrenzen. 2015 lag der Wertschöpfungsanteil von Software an einem Fahrzeug bereits bei 40%, Tendenz weiter steigend [BSS15]. Im Vergleich zu den 1970er Jahren ergeben sich zusätzliche Komplexität und Herausforderungen sowohl an den Grenzen zwischen einzelnen Disziplinen als auch über die Grenzen des betrachteten Systems hinaus, beispielsweise bei Themen wie Konnektivität und autonomen Fahren. Derselbe Trend ist auch in anderen Branchen zu erkennen, beispielsweise in Form von „smarten“ Haushaltsgeräten oder der zunehmenden Vernetzung und Automatisierung von Maschinen und Anlagen. Bild 2-1 zeigt diese Entwicklung am Beispiel von Haushaltsgeräten und technologischen Veränderungen im Bereich der Digitalisierung. Deutlich wird diese Entwicklung auch an genutzten Begrifflichkeiten und dem Verständnis dieser Begriffe: Insbesondere die in Kapitel 2.1.1 beschriebenen Begriffe Mechatronik und Intelligente Technische Systeme (ITS) sind hier von Bedeutung.

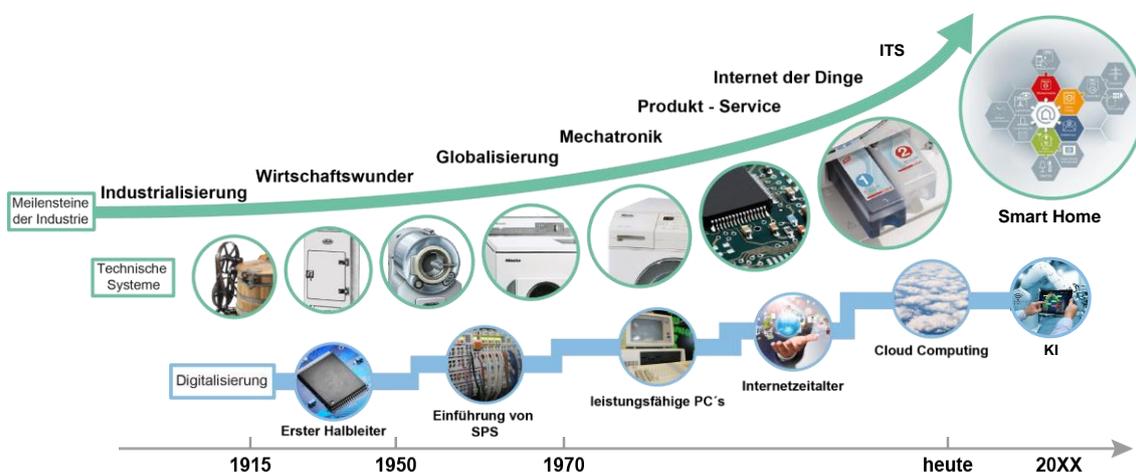


Bild 2-1: Entwicklung technologischer Möglichkeiten und technischer Systeme

2.1.1 Von mechatronischen Systemen zu ITS

Der Begriff Mechatronik wurde in den 70er Jahren als Kunstwort aus den Begriffen *Mechanik* und *Elektronik* geprägt [Ise02] und bezeichnet das synergetische Zusammenwirken der Disziplinen Maschinenbau, Elektrotechnik und Informationstechnik [VDI2206]. Dies gilt sowohl für die Entwicklung mechatronischer Komponenten und Systeme als auch für deren Fertigungsprozessentwicklung [HTF96]. Das Begriffsverständnis unterliegt dabei einem Wandel. So variiert, abhängig von aktuell wichtigen Aufgaben der Entwicklung, auch der Umfang des Begriffsverständnisses [ERZ14]. Die Bedeutung von Software in technischen Systemen nimmt seit Jahren zu und spiegelt sich auch, wie in Bild 2-2 dargestellt, im aktuellen Begriffsverständnis Mechatronik, wider obwohl sie im ursprünglichen Verständnis noch nicht deutlich wurde [SB09], [ERZ14].

Mechatronische Systeme setzen sich in ihrer Grundform aus einem Grundsystem, Sensorik, Aktuatorik und einem Informationsverarbeitungssystem zusammen [VDI2206]. Diese wirken in einem Regelkreis. Die Beziehungen innerhalb des Systems können durch Informationsflüsse, Energieflüsse und Stoffflüsse beschrieben werden [PBF+07].

Stoffflüsse beschreiben dabei den Austausch von Stoffen, beispielsweise Flüssigkeiten, Gasen oder Festkörpern. Energieflüsse beschreiben den Fluss von Energie, der in verschiedenen Formen (mechanisch, elektrisch, etc.) vorliegen kann. Informationsflüsse beschreiben den Austausch von Informationen, etwa Sensorwerte, Daten, oder Sollwerte. Interaktionen mit dem mechatronischen System werden mit denselben Beziehungen beschrieben und Verknüpfen das System beispielsweise mit einer externen Informationsverarbeitung, Nutzern oder der Umgebung.

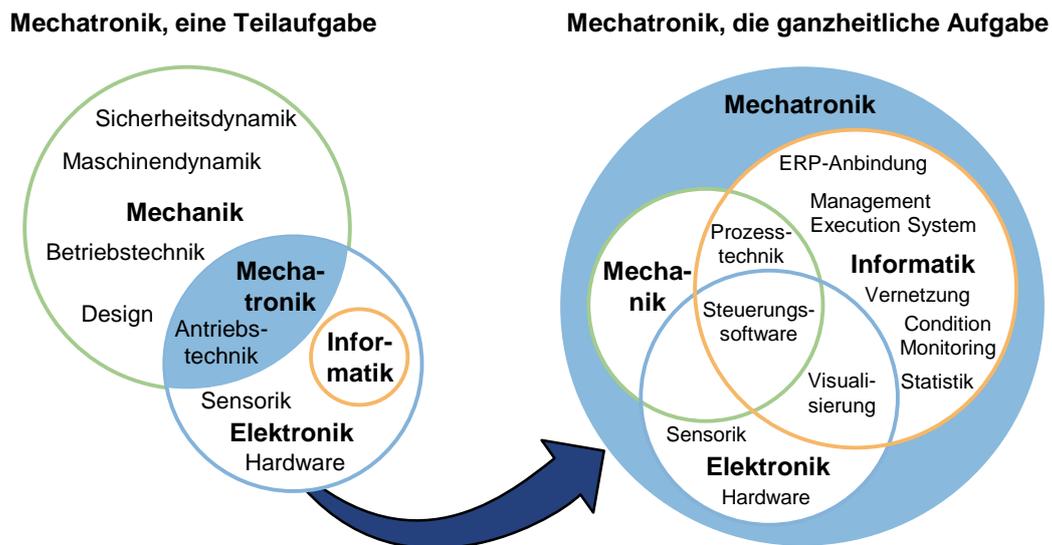


Bild 2-2: Verständnis für den Begriff Mechatronik im Wandel, nach [ERZ14]

Aufgrund der technologischen Weiterentwicklung im Bereich der Informationstechnik ist eine Weiterentwicklung von mechatronischen Systemen hin zu Intelligenten Technischen Systemen zu beobachten. Bei diesen wird die Informationsverarbeitung um eine inhärente Teilintelligenz erweitert. Hierdurch werden neue Funktionen, insbesondere im Umgang mit der Umgebung, ermöglicht. ITS zeichnen sich durch diese Funktionen aus und können durch vier Eigenschaften charakterisiert werden [GDE+19], [GAC+13], [DIL+18]:

- **Adaptiv:** Das System ist in der Lage sich, in einem gewissen Umfang autonom in Abhängigkeit gegebener Umgebungsbedingungen, weiterzuentwickeln und sich an diese anzupassen.
- **Robust:** Das System ist in der Lage auch Situationen, welche vom Entwickler nicht berücksichtigt wurden, zu bewältigen.
- **Vorausschauend:** Das System ist in der Lage auf Basis von gesammeltem Erfahrungswissen zukünftige Auswirkungen von Einflüssen zu antizipieren und entsprechend zu reagieren.
- **Benutzerfreundlich:** Das Verhalten der Systeme berücksichtigt das Benutzerverhalten und ermöglicht eine benutzerfreundliche Interaktion.

Die ITS-Grundstruktur wird in Bild 2-3 abgebildet. Das Grundsystem ist Blau dargestellt. Bei ITS wird die rein regelnde Informationsverarbeitung gemäß dem 3-Schichtenmodells der Kognitionswissenschaften erweitert. Auf der nicht kognitiven Regelung setzt eine assoziative Regulierung auf. Diese erlaubt es auf Basis einer Konditionierung situationspezifisch unterschiedliche Regelungen einzusetzen. Die dritte Schicht enthält kognitive Funktionen, also selbständige Planung, Modifikationen und Lernen [GDE+19].

Cyber-Physische Systeme (CPS) sind eine Untermenge der ITS. Der Begriff ergibt sich aus den zunehmenden Möglichkeiten zur Virtualisierung und Vernetzung und beschreibt global vernetzte Systeme, die Netzwerke zur Kommunikation nutzen, um Daten und Dienste auszutauschen. Im Gegensatz zu ITS sind CPS zwingend mit anderen Systemen vernetzt und sehen die Nutzung von Daten und Diensten, z. B. Wetterdaten, vor [Wes17]. CPS können demnach als eine Untermenge von ITS betrachtet werden, die vernetzungsbedingt eine besonders hohe zusätzliche Komplexität aufweisen [GDE+19], [Wes17].

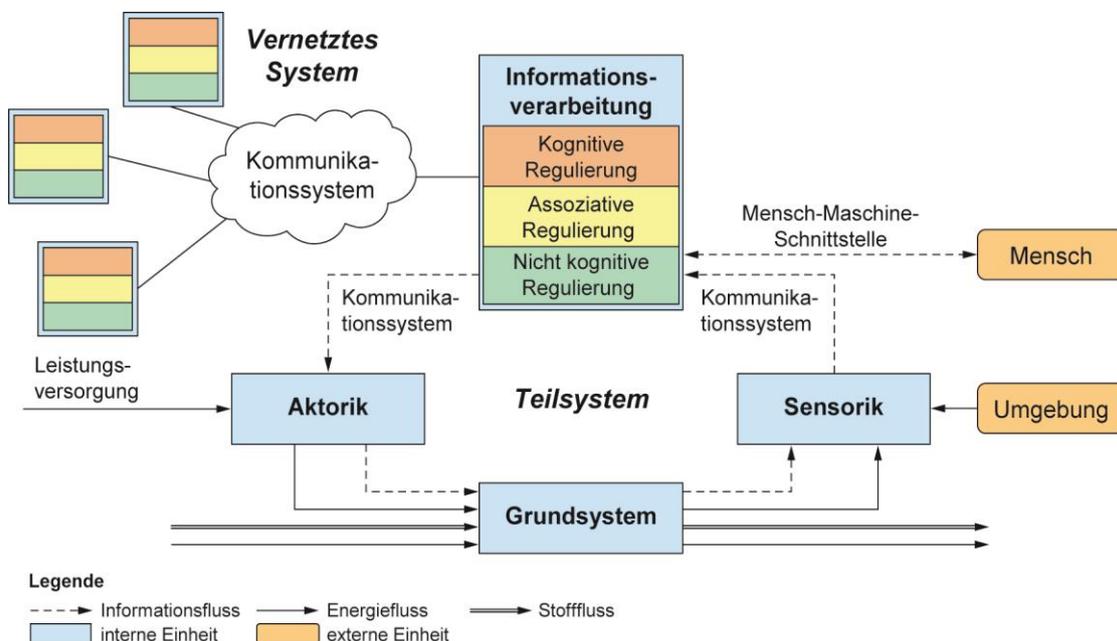


Bild 2-3: ITS auf Basis der Grundstruktur mechatronischer Systeme [GDE+19]

Technische Systeme, unabhängig ob mechatronisch, ITS oder CPS beruhen zu großen Teilen auf dem synergetischen Zusammenwirken unterschiedlicher Disziplinen. Einige Herausforderungen können nur gemeinsam von mehreren Disziplinen gelöst werden. Andere Herausforderungen sind zwar in einer Disziplin lösbar, der hierfür notwendige Aufwand kann jedoch durch die geschickte Zusammenarbeit der Disziplinen erheblich reduziert werden. Daraus ergibt sich Bedarf für eine gute interdisziplinäre Zusammenarbeit.

2.1.2 Komplexität technischer Systeme

Im Kontext technischer Systeme, deren Entwicklung und der Einführung von SE wird der Begriff „komplex“ häufig verwendet. Wissenschaftlich betrachtet fehlt es zwar an einer

eindeutigen Definition, es wird jedoch zwischen Komplexität und Kompliziertheit unterschieden [Pat82], [HWF+12]. In der Kybernetik wird angenommen, dass die Komplexität eines Systems abhängig ist von der Anzahl der Elemente des Systems, der Anzahl möglicher Zustände dieser Elemente sowie den Beziehungen zwischen diesen [KL79]. Kompliziertheit hingegen wird als Maß für die Verschiedenartigkeit von Elementen betrachtet [KL79]. Abweichend davon wird in der Entwicklung Kompliziertheit als Maß für Zunahme von entweder der Dynamik eines Systems oder der Vielzahl der Elemente des Systems betrachtet – bei gleichzeitiger Zunahme von Kompliziertheit in beiden Dimensionen wird das System als komplex bezeichnet [Ban07], [HWF+12], [UP95]. Der Zusammenhang zwischen einfachen Systemen, dynamisch bzw. beziehungsreich komplizierten Systemen und komplexen Systemen wird in Bild 2-4 dargestellt.

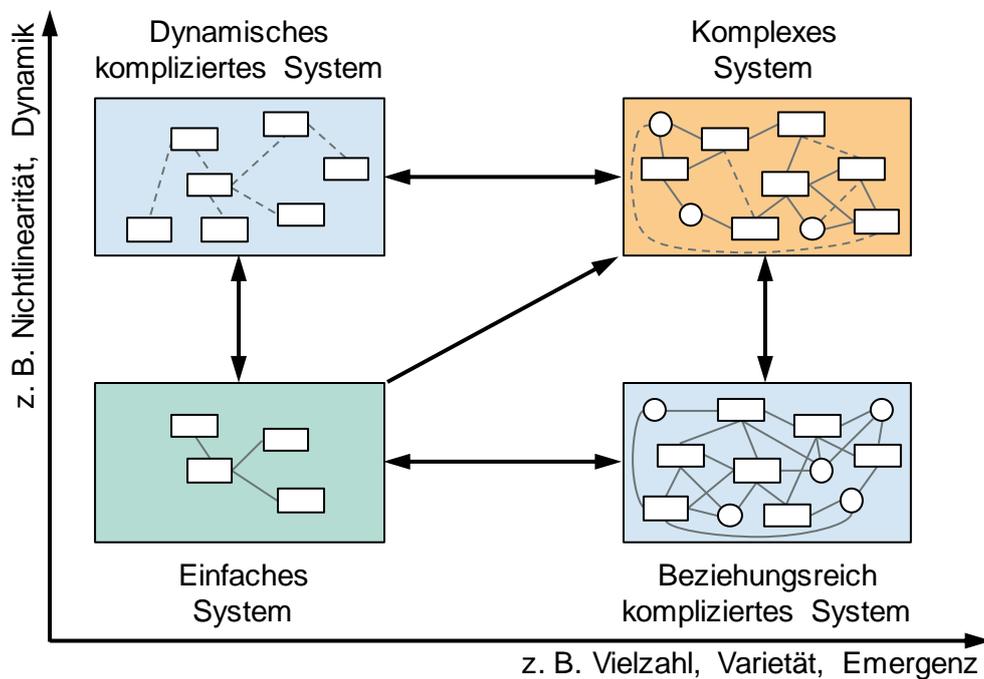


Bild 2-4: Kompliziertheit und Komplexität von Systemen nach [Ban07], [HWF+12], [UP95]

Mit steigender Kompliziertheit bzw. Komplexität steigt auch die Schwierigkeit für Entwicklung und Produktion des Systems [MR02], [HWF+12]. Mechatronische Systeme und in besonderem Maße ITS und CPS zeichnen sich durch ihre Vernetzung und Dynamik aus und bestehen häufig aus einer großen Anzahl von Elementen. Laut BRAUN et al. hat eine entsprechende Komplexitätssteigerung folgende Auswirkungen auf die Entwicklung: Die Anzahl und zeitliche Veränderlichkeit von Anforderungen steigen, es gilt eine Vielzahl von Funktionen und Elementen zu beherrschen und die Anzahl an Abhängigkeiten und Schnittstellen ist hoch. Zudem ist das Zusammenwirken von Elementen verschiedener Fachdisziplinen notwendig, woraus der Bedarf für das Zusammenwirken von Entwicklern dieser Disziplinen resultiert. Es ist davon auszugehen, dass der Trend des steigenden Bedarfs an solchen Systemen weiterhin zunimmt [BHL07-ol], [Vog18].

Entsprechend ergibt sich aus der steigenden Systemkomplexität auch eine steigende Komplexität der Entwicklung dieser Systeme. In der Vergangenheit waren Interdisziplinarität und hohe Komplexität typische Charakteristika von Sondersystemen (z. B. Infrastrukturprojekte) oder Kleinserienprodukten, insbesondere in der Rüstungsindustrie sowie der Luft- und Raumfahrtindustrie. Heute gelten diese Charakteristika auch für Serienprodukte im B2B (z. B. Maschinen- und Anlagenbau) und B2C-Bereich (z. B. Automotive) [HUB15], [Fes18], [BSS15].

Fazit Kapitel 2.1: Der Übergang von Mechanik über Mechatronik hin zu Intelligenten Technischen Systemen und Cyber-physischen Systemen ermöglicht moderne technische Systeme, wie intelligente vernetzte Hausgeräte oder (teil-)autonome Fahrzeuge. Für Unternehmen bietet diese Entwicklung gleichzeitig Chancen und Herausforderungen; so erwarten Kunden von Produkten heute immer mehr Funktionalität. ITS können diese Funktionalität bieten, doch aufgrund der Systemkomplexität stellt die Entwicklung dieser Systeme Unternehmen vor große Herausforderungen. Dies gilt im Besonderen für CPS.

2.2 Produktentwicklung

Jedes technische System durchläuft einen Lebenszyklus, welcher mit der Idee bzw. dem wahrgenommenen Bedarf für das System startet und mit seiner Freisetzung bzw. Entsorgung endet [ISO26702]. ISO 15288 definiert den Produktlebenszyklus wie folgt:

„evolution of a system, product, service, project or other human-made entity from conception through retirement“ [ISO15288].

Auf einer hohen Abstraktionsebene kann der Lebenszyklus in zwei Phasen unterteilt werden: Produktentstehung und Marktphase [GLR+00], [GPW14]. Die Produktentstehung ist dabei der Teil des Produktlebenszyklus von der Idee bis zum Serienanlauf [GLR+00]. Verfügbare Lebenszyklusmodelle unterscheiden sich abhängig von Herkunft und Fokus. So unterscheiden GAUSEMEIER et al. für die Produktentstehung die Phasen strategische Produktplanung, Produktentwicklung und Produktionssystementwicklung [GPW14], während ISO/IEC TR 24748-1 zwischen den Phasen Konzeption, Entwicklung, Produktion, Nutzung, Support und Stilllegung unterscheidet [ISO/IEC TR 24748-1]. Konzeption und Entwicklung als Teil der Produktentstehung können wiederum als **Produktentwicklung** betrachtet werden, in welcher durch Entwicklungsarbeit Lücken im bekannten Markt erschlossen werden [GDE+19]. Unabhängig von der konkreten Definition ist zu beobachten, dass die Dauer von Produktlebenszyklen über verschiedene Branchen hinweg abnimmt [PBF+07], [Tsc16]. Zusammen mit dem Bedarf, ein Produkt erfolgreich im Markt zu positionieren, ergibt sich hieraus ein Trend zu immer kürzeren Produktentstehungs- und Produktentwicklungsprozessen [Wit07], [Inc07-ol], [ASS19], wenngleich abhängig von der Produktkomplexität und Marktsituation unterschiedlich viel Zeit zur Entwicklung genutzt werden muss [ASS19]. Dies erhöht, gemeinsam mit der steigenden

Komplexität der betrachteten Systeme (s. Kapitel 2.1), die Komplexität der Produktentstehung. Zur Beherrschung dieser Komplexität muss der Einsatz möglicher Lösungen wie SE bereits in den frühen Phasen der Produktentwicklung beginnen (vgl. Kapitel 2.3.1).

Nach dem ZOPH-Modell (siehe 3.1.6) kann die Produktentwicklung als ein System mit verschiedenen Teilsystemen betrachtet werden. Das Handlungssystem setzt dabei die Ziele des Zielsystems unter Anwendung des Prozesssystems in ein zielkonformes Produkt um, welches im Objektsystem beschrieben wird [NFI97]. Prozesse bzw. Vorgehensweisen, Modelle zur Beschreibung des Objektsystems und Organisationen als Handlungssystem werden im Folgenden näher beschrieben.

2.2.1 Große Unternehmen des produzierenden Gewerbes

Das Rahmenwerk soll im Wesentlichen große Industrieunternehmen im produzierenden Gewerbe bei der Einführung von SE und MBSE unterstützen. Die Arbeit adressiert Unternehmen mit folgenden Eigenschaften:

- **Entwicklung:** Die Unternehmen spezifizieren und entwickeln selbständig Produkte, gegebenenfalls in Zusammenarbeit mit Entwicklungspartnern und Zulieferern. Die entwickelten Produkte können vom Unternehmen selbst produziert werden, dies ist jedoch nicht notwendig. Reine Produzenten, wie etwa Auftragsfertiger, gehören nicht zur Zielgruppe.
- **Produkt:** Bei dem oder den Produkten des Unternehmens handelt es sich um komplexe technische Systeme (ITS oder CPS), die im Zusammenspiel mehrerer Disziplinen entwickelt werden. Die Produkte werden als Serienprodukt entwickelt und gefertigt. Unternehmen mit Fokus auf eine einzelne Disziplin (etwa Softwareanbieter oder reine Hersteller von Elektronikbauteilen) stehen nicht im Fokus.
- **Größe:** Die Unternehmen haben über 500 Beschäftigte und zählen damit zu großen oder sehr großen Unternehmen.
- **Branche:** Im Fokus der Arbeit stehen Unternehmen des verarbeitenden Gewerbes, insbesondere Hersteller von elektrischen Geräten, Kraftwagen und Kraftwagenteilen sowie Maschinen (siehe Branchen Kürzel bzw. WZ 2-Steller 27, 28 und 29 und nach [Sta08-ol]).

Zunächst wird die Bedeutung der Zielgruppe für die deutsche Wirtschaft dargestellt. Anschließend werden typische Eigenschaften entsprechender Unternehmen diskutiert. Diese bilden die Basis für die spätere Ableitung von Barrieren zur Einführung von Systems Engineering und Model-Based Systems Engineering in Kapitel 2.3.4.

Bedeutung für die deutsche Wirtschaft

In den genannten Branchen wurde im Jahr 2017 eine Stammebelegschaft von 2.312.738 Personen beschäftigt, davon 1.371.194 (59 %) in Betrieben mit über 500 Beschäftigten.

Innerhalb dieser teilten sich die Beschäftigten wie folgt auf die Branchen auf: Elektrische Geräte: 15,7 %; Kraftwagen und Kraftwagenteile: 50,9 %; Maschinenbau: 33,4 %. Der Umsatz der drei Branchen wird mit ca. 776,3 Mrd. € angegeben, davon 574,4 Mrd. € (74 %) in Betrieben mit über 500 Beschäftigten. Insgesamt sind in Unternehmen der betrachteten Branchen mit über 500 Beschäftigten ca. 21,9 % aller im verarbeitenden Gewerbe beschäftigten Personen angestellt und die betrachtete Unternehmensgruppe zeichnet verantwortlich für 30,2 % des gesamten Umsatzes des verarbeitenden Gewerbes [Sta18-01].

Insbesondere die Unternehmen des Maschinen- und Fahrzeugbaus zeichnen sich durch eine besondere Innovationskraft aus: 58 % der Unternehmen im Maschinenbau brachten 2017 Produktinnovationen an den Markt [VDM18]. 97 % der Maschinenbauunternehmen sehen sich als Innovationsführer oder frühe Innovationsfolger [ZEW15]. Im Jahr 2015 investierten Unternehmen im Maschinenbau 5,9 % ihres Umsatzes für Innovationsprojekte [ZEW17]. Der Umsatzanteil mit Marktneuheiten lag 2015 bei 21 % [ZEW17]. Im Fahrzeugbau lag der Anteil der 2015 eingeführten Produktinnovationen mit 19 % deutlich niedriger als im Maschinenbau, dennoch fällt der Umsatzanteil mit Produktneuheiten im selben Jahr mit 48 % deutlich höher aus als dort. Über alle Branchen hinweg führt der Fahrzeugbau bei den Innovationsausgaben: hier werden 9,9 % des Umsatzes in Innovationsausgaben investiert. Diese umfassen neben Produkt- jedoch auch Prozessinnovationen; 64 % der Unternehmen im Fahrzeugbau führten 2015 Produkt- und/oder Prozessinnovationen ein [ZEW17].

Unternehmen des produzierenden Gewerbes durchlaufen aktuell eine Transformation vom Produkthersteller zum Service-Provider [HUB15]. So wandelt sich das Verständnis von Automobilkonzernen beispielsweise vom Fahrzeughersteller zum Mobilitätsdienstleister [Fes18]. Das für sich bereits komplexe Fahrzeug ist hier nur ein Teil eines größeren Mobilitätssystems. Anbieter von maschinenbaulichen Erzeugnissen wandeln sich zum Systemlieferanten. Es wird deutlich, dass für die betrachteten Unternehmen die **Produktentwicklung** eine zentrale Bedeutung für den Markterfolg hat.

Eigenschaften und Charakteristika – Großunternehmen

Großunternehmen weisen im Gegensatz zu Kleinen und Mittelständischen Unternehmen (KMU) einige Besonderheiten auf. Diese können für die Einführung neuer Ansätze sowohl Vorteile als auch Nachteile mit sich bringen. Die folgende Tabelle stellt die wichtigsten Unterschiede der Unternehmenskategorien dar.

Die ohnehin starke Einbindung von Entwicklungspartnern und Zulieferern nimmt im Rahmen der gesamten Entwicklungs- und Fertigungstätigkeiten in großen Unternehmen zu [PBF+13]. Dies gilt sowohl für externe Partner als auch für den verstärkten Einsatz von internen Entwicklungs- oder Fertigungspartnern, beispielsweise konzerneigene Werke in Fernost.

Tabelle 2-1: *Eigenschaften von Großunternehmen nach [Pfo06], [Rop14], [Fle01], [Hay15], [Mug08]*

Bereich	KMU	Großunternehmen
Führung	<ul style="list-style-type: none"> • Eigentümer-Unternehmer • Entscheidungen durch Einzelne • Viel Improvisation, wenig Struktur, jedoch schnelle Entscheidungen 	<ul style="list-style-type: none"> • Manager • Viele Gruppenentscheidungen • Umfangreiche Planung und träge Entscheidungswege
Kultur	<ul style="list-style-type: none"> • Oft nur implizit, jedoch gut vorgelebt und im Unternehmen verankert • Starkes „Wir-Gefühl“ im gesamten Unternehmen 	<ul style="list-style-type: none"> • Explizit (Leitbilder, Wertekodex, ...), jedoch kaum tatsächlich erreicht • Starke Abgrenzung zwischen Abteilungen (Silodenken)
Personal	<ul style="list-style-type: none"> • Weniger präsent/attraktiv für qualifizierte Fachkräfte • Kaum externe Mitarbeiter • Eher wenig Akademiker beschäftigt • Überwiegend breites Fachwissen • Tendenziell hohe Arbeitszufriedenheit • Insgesamt wenig Mitarbeiter 	<ul style="list-style-type: none"> • Tendenziell gut von Bewerbern wahrgenommen • Viele externe Mitarbeiter • Akademiker im größeren Umfang beschäftigt • Tendenz zum Spezialistentum • Tendenziell geringere Arbeitszufriedenheit • Insgesamt viele Mitarbeiter
Organisation	<ul style="list-style-type: none"> • Einfache, flache Organisationsstruktur • Hohe Abhängigkeit von einzelnen Köpfen • Funktionshäufung • Kaum Koordinationsprobleme • Hohe Flexibilität 	<ul style="list-style-type: none"> • Komplexe, hierarchische Strukturen • Struktur- und prozessgetrieben, daher wenig von Einzelnen abhängig • Arbeitsteilung • Große Koordinationsprobleme • Geringe Flexibilität
Forschung und Entwicklung	<ul style="list-style-type: none"> • Informal und bedarfsorientiert • Enge Zusammenarbeit, Informale Problemlösung • Geringe Zahl an Entwicklungspartnern 	<ul style="list-style-type: none"> • Formale F&E-Abteilungen • Enge Zusammenarbeit (intern und extern) zwar wichtig, aber kaum umgesetzt • Viele Entwicklungspartner
Produktion	<ul style="list-style-type: none"> • Geringe Zahl an Zulieferern • Arbeitsintensiv 	<ul style="list-style-type: none"> • Hohe Zahl an Zulieferern • Kapitalintensiv
Mittel-einsatz	<ul style="list-style-type: none"> • Geringe finanzielle Freiheit 	<ul style="list-style-type: none"> • Große finanzielle Freiheit

Funktionale Struktur produzierender Unternehmen

GAUSEMEIER et al. beschreiben eine generische Struktur produzierender Industrieunternehmen, siehe Bild 2-5 [GPW14]. Dabei laufen im Unternehmen drei Hauptprozesse ab:

Der **Produktentstehungsprozess** umfasst die Produktplanung und -entwicklung inklusive der zugehörigen Arbeits- bzw. Fertigungsplanung und stellt die nötigen technischen Daten für die Fertigung bereit. Der **Auftragsabwicklungsprozess** umfasst Vertrieb, Einkauf sowie Arbeitssteuerung und löst die Fertigung aus. Hier werden auftragsbezogene, dispositive Informationen ausgetauscht. Die **Fertigung** wiederum beschreibt die Umwandlung von Rohmaterialien, Halbzeugen und Zukaufteilen in das fertige Erzeugnis.

Die Aufgaben in den Hauptprozessen bzw. den untergeordneten Funktionsbereichen werden durch IT-Systeme unterstützt. Im Bereich der Produktentstehung kommen hierbei vor allem Computer Aided Engineering und Design Werkzeuge zum Einsatz. Die Daten werden über Produktdatenmanagementsysteme (PDM) verwaltet. Im Bereich der Auftragsabwicklung stellen Enterprise Resource Planning (ERP) Systeme wichtige Unterstützung entlang des Wertschöpfungsprozesses bereit, beispielsweise für die Auftrags- und Materialplanung. Für die Fertigung werden Computer Aided Manufacturing (CAM) und Produktionsplanungs- und Steuerungssysteme (PPS) genutzt. Die notwendige Durchgängigkeit zwischen den verschiedenen Werkzeugwelten stellt Unternehmen vor Herausforderungen. Der Fokus der vorliegenden Arbeit liegt auf dem **Produktentwicklungsprozess**, der als vorderer Teil des Produktentstehungsprozesses betrachtet werden kann.

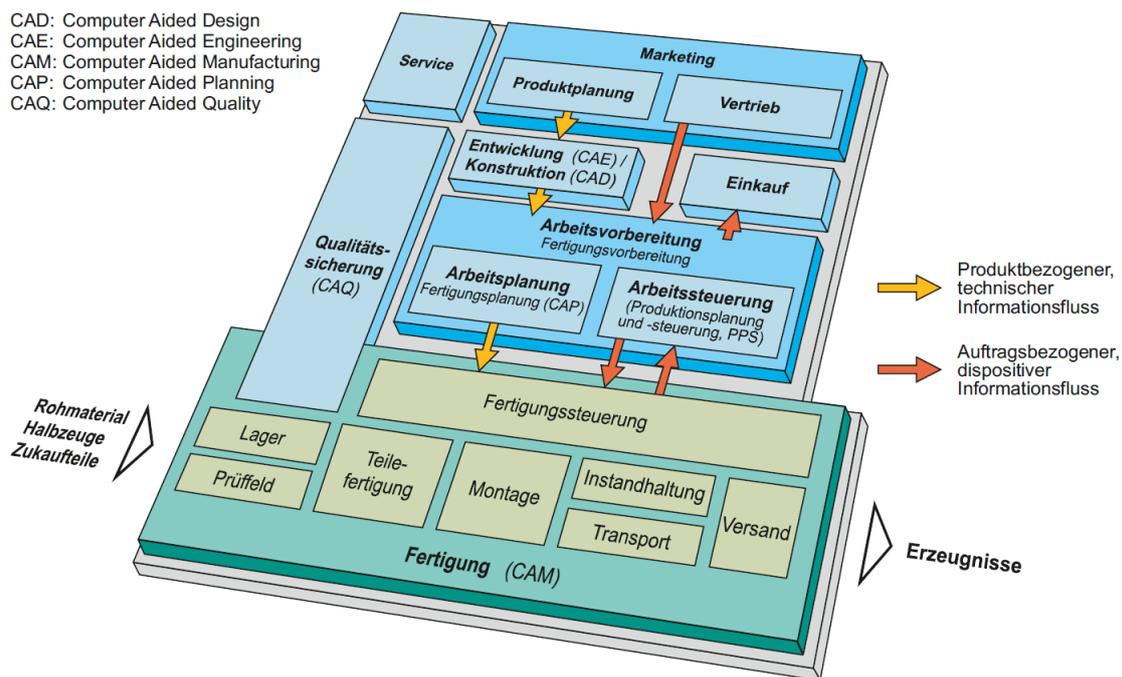


Bild 2-5: Funktionale Struktur eines produzierenden Unternehmens [GPW14]

2.2.2 Vorgehensmodelle der Produktentwicklung

Während kleine Unternehmen häufiger informal und bedarfsorientiert arbeiten, haben formale Prozesse in großen Unternehmen eine höhere Bedeutung. Die Prozesse werden in der Regel anhand von übergeordneten Konzepten oder Vorgehensmodellen gestaltet. Vor diesem Hintergrund wird die Produktentwicklung zunächst in das Referenzmodell

der strategischen Planung und integrativen Entwicklung von Marktleistungen nach GAU-SEMEIER eingeordnet. Anschließend werden etablierte Vorgehensmodelle bzw. Methoden der Produktentwicklung vorgestellt.

Referenzmodell der strategischen Planung und integrativen Entwicklung von Marktleistungen

Das Vier-Zyklen-Modell der Produkt- bzw. Marktleistungsentstehung stellt einen Rahmen für die Einbindung verschiedenster involvierter Fachbereiche dar und unterscheidet vier wesentliche Aufgabenbereiche: Strategische Produktplanung, Produktentwicklung, Dienstleistungsentwicklung und Produktionssystementwicklung (s. Bild 2-6).

Die Zyklen, sowie die darin enthaltenen Aufgaben, stehen in einem Wechselspiel und können weder als stringente Folge von Meilensteinen verstanden werden noch als einmalig durchzuführende Aufgaben – stattdessen sind die Zyklen mehrfach zu durchlaufen, bis die Ergebnisse den gewünschten Reifegrad haben [GDE+19]. Insbesondere die drei Entwicklungszyklen weisen starke Wechselwirkungen zueinander auf und müssen parallel und aufeinander abgestimmt vorangetrieben werden. Um die enge Integration erfolgreich zu gestalten, eignet sich der Ansatz des SE [HWF+12], [GDS+13]. Im Folgenden werden die einzelnen Zyklen nach [GDE+19] näher beschrieben:

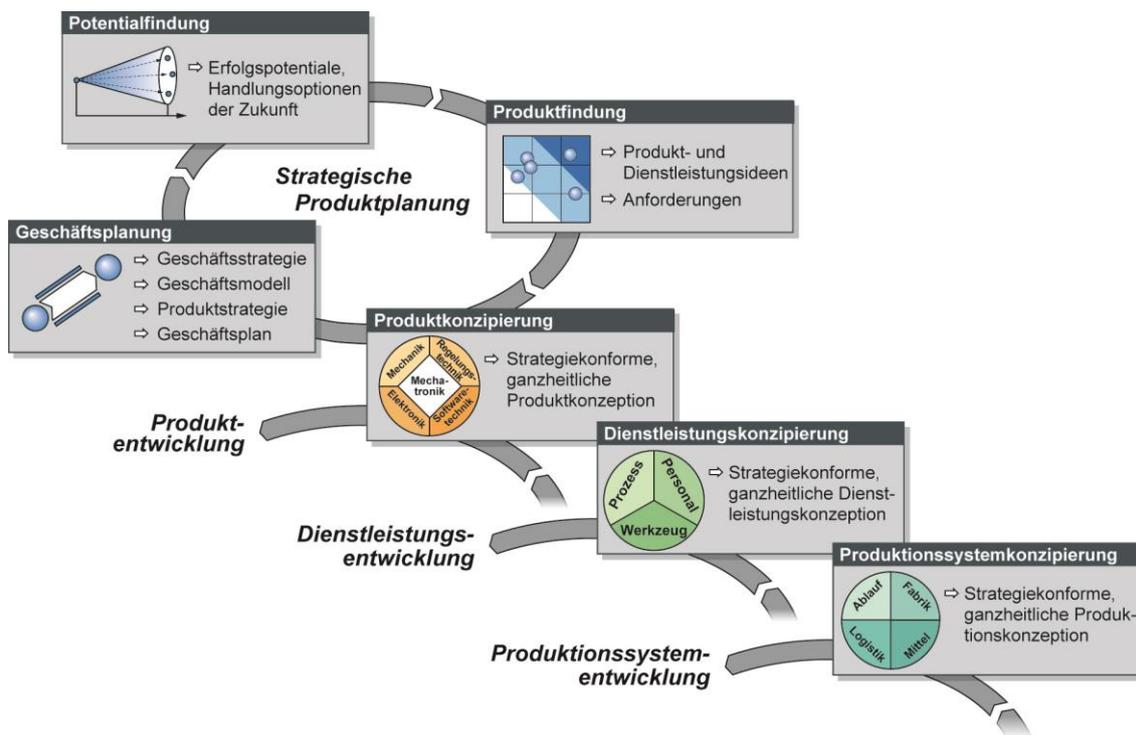


Bild 2-6: Referenzmodell der strategischen Planung und integrativen Entwicklung von Marktleistungen [GDE+19]

Strategische Produktplanung: Der erste Zyklus umfasst Tätigkeiten von der Identifikation von Potentialen bis zum konkreten Entwicklungsauftrag. Dazu gilt es drei Aufgabebereiche zu bearbeiten. In der Potentialfindung werden Erfolgspotentiale und Handlungsoptionen identifiziert. Die Produktfindung sucht vielversprechende Produkt- und Dienstleistungsideen zur Erschließung der Potentiale. Die Geschäftsplanung hat zum Ziel, Geschäftsstrategie und -modelle sowie Produktstrategien zu entwickeln. Letztere münden in einem Geschäftsplan, der unter anderem den Return on Invest für die angestrebten Produkte umfasst.

Produktentwicklung: Der zweite Zyklus orientiert sich am V-Modell (s. Bild 2-8) und umfasst die disziplinübergreifende Produktkonzeption, die fachdisziplinspezifischen Aufgaben Entwurf und Ausarbeitung, sowie die Produktintegration und Verifikation. Die Produktkonzeption stellt dabei das Bindeglied zum ersten Zyklus dar. Zum einen ist sie der Startpunkt für den zweiten Zyklus und zum anderen wird ein grobes Produktkonzept bereits Rahmen des ersten Zyklus benötigt, beispielsweise zur Abschätzung von Risiken und Kosten.

Dienstleistungsentwicklung: Der dritte Zyklus beschreibt die Umsetzung einer Dienstleistungsidee in eine Marktleistung [BS06]. Hier werden die Dienstleistungskonzipierung, -planung und -integration durchlaufen. Die Dienstleistungskonzipierung umfasst die Konzeption der Aspekte Prozess, Personal und Werkzeug [MB02]. Im Rahmen der Dienstleistungsplanung wird das bestehende Konzept hinsichtlich Ablauforganisation, Personal- und Werkzeugplanung konkretisiert. In der Dienstleistungsintegration werden die Ergebnisse schließlich integriert und die Erfüllung der Anforderungen aus Zyklus eins geprüft [SM11].

Produktionssystementwicklung: Im Rahmen des vierten Zyklus wird das notwendige Produktionssystem konzipiert, die entsprechende Arbeitsplanung durchgeführt und das Produktionssystem integriert. In diesem Kontext gilt es Arbeitsabläufe, Arbeitsstätten, Arbeitsmittel und Materialflüsse zu planen. Dabei bieten sich insbesondere digitale Modelle im Kontext der Virtuellen Produktion an.

Einordnung: Systems Engineering umfasst den gesamten Produktlebenszyklus. Die vorliegende Arbeit legt den Fokus für die Unterstützung der Einführung von SE jedoch auf den Zyklus der Produktentwicklung zuzüglich der Produktfindung. Aspekte der Dienstleistungs- und Produktionssystementwicklung werden nicht explizit betrachtet.

Vorgehensmodelle der Produktentwicklung

Vorgehensmodelle sollen ihre Anwender dabei unterstützen, die Entwicklungstätigkeiten strukturiert und planvoll zu durchlaufen, um bestimmte Ziele zu erreichen [Lin09]. Etwa, um Fehler zu vermeiden, zielgerichtet zu kommunizieren oder effektiv zu arbeiten [PBF+07]. Dabei gilt es zwischen fachdisziplinspezifischen und fachdisziplinübergreifenden Modellen zu unterscheiden. Erstere sind dabei für Projekte innerhalb einer Disziplin geeignet, wie z. B. das V-Modell XT [Wei14] für die Softwareentwicklung oder

die Konstruktionslehre nach PAHL/BEITZ für mechanische Produkte [PBF+13]. Den disziplinübergreifenden Ansprüchen von ITS werden diese Modelle jedoch nicht gerecht.

Zudem wird zwischen Vorgehensmodellen mit Mikro- und Makrologik unterschieden [Bra05], [KL18]. Eine Mikrologik beschreibt allgemeine Handlungsmuster zur Problemlösung, die für verschiedenste Fachbereiche oder Domänen anwendbar sind. Beispiele sind der PDCA-Zyklus (Plan, Do, Check, Act) oder das TOTE-Schema (Test, Operate, Test, Exit). Eine Makrologik bietet einen Überblick über den jeweiligen Zusammenhang, beispielsweise den Produktentwicklungsprozess. Eine eindeutige Zuordnung eines Ansatzes in eine der beiden Kategorien ist nicht zwingend möglich, der Übergang zwischen beiden Arten ist fließend [Bra05]. Dies wird in Bild 2-7 dargestellt. Für sich genommen liefert keine der Logiken ausreichend Unterstützung, um ein Produkt zu entwickeln.

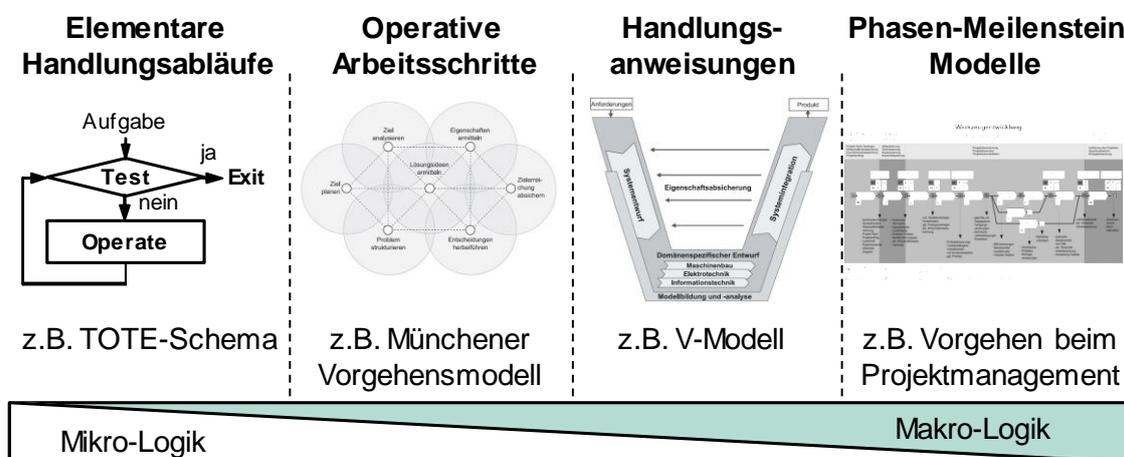


Bild 2-7: Mikro- und Makrologik [INC12]

V-Modell

Die VDI 2206 beschreibt mit dem V-Modell und einem Problemlösungszyklus einen interdisziplinären Entwicklungsansatz (s. Bild 2-8). Das **V-Modell** stellt einen Makrozyklus dar und schlägt vor, zunächst einen Systementwurf durchzuführen. Dieser zielt ausgehend von den Anforderungen auf ein domänenübergreifendes Lösungskonzept ab.

Ausgehend von diesem Konzept beginnt die fachdisziplinspezifische Entwicklungsarbeit. Die Ergebnisse werden in der Systemintegration zusammengeführt, wobei auf unterschiedlichen Ebenen eine Eigenschaftsabsicherung gegenüber dem Systementwurf durchgeführt wird. Modellbildung und -analyse unterstützen die Prozesse dabei. Die VDI 2206 beschreibt zudem genauer welche Tätigkeiten in den jeweiligen Phasen durchgeführt werden sollen, der Detaillierungsgrad bleibt dabei jedoch oberflächlich. Resultat eines Durchlaufs des V-Modells ist ein Produkt, wobei ein solches Produkt auch ein Muster oder Prototyp sein kann. Für ein fertiges Serienprodukt können entsprechend mehrere Durchläufe des V-Modells notwendig sein [VDI2206].

Der **Problemlösungszyklus** stellt einen Mikrozyklus dar und wurde aus dem Systems Engineering übernommen. Er umfasst die folgenden Schritte: Situationsanalyse bzw. Zielübernahme, Zielformulierung bzw. Situationsanalyse, Analyse und Synthese, Analyse und Bewertung, Entscheidung und Planen des weiteren Vorgehens bzw. Lernen. Im Rahmen des Zyklus werden zunächst Ist- und Soll-Zustand beschrieben. Davon ausgehend werden mögliche Lösungsalternativen entwickelt und bewertet. Anschließend erfolgt die Entscheidung für eine Lösung bevor der Zyklus mit der Planung des weiteren Vorgehens schließt [VDI2206].

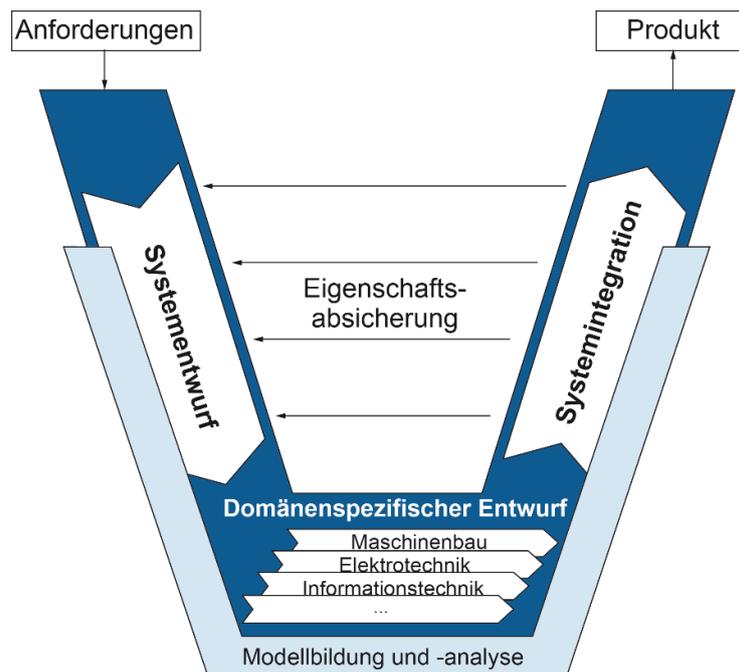


Bild 2-8: Das V-Modell nach [VDI2206]

Agile Produktentwicklung

Das Konzept der Agilen Produktentwicklung stammt aus der Softwareentwicklung. Das Interesse am Einsatz in anderen Bereichen steigt stark [Inc12], [SPW18], die Umsetzung gestaltet sich aber gerade für mechanische Aspekte des Produkts anspruchsvoll [SPW18]. Wesentlicher Treiber für Agile Vorgehensweisen ist der Bedarf nach höherer Flexibilität [INC12], [Coh10]. Die grundlegenden Werte, auf welchen die agile Entwicklung aufbaut, wurden im Agilen Manifest zusammengefasst [BGM+01-ol] und gelten bis heute gleichermaßen [DD17]:

- Individuen und Interaktion sind wichtiger als Prozesse und Werkzeuge.
- Funktionierende Software ist wichtiger als eine umfassende Dokumentation.
- Die Zusammenarbeit mit dem Kunden ist wichtiger als Vertragsverhandlungen.
- Das Reagieren auf Veränderungen ist wichtiger als das Befolgen eines Plans.

Wichtig hierbei ist, dass die jeweils rechts genannten Werte (Prozesse, Dokumentation, Vertragsverhandlungen, Planung) ebenfalls als wichtig angesehen werden und nicht entfallen können. Bei der konkreten Anwendung sollen 12 Prinzipien der Agilen Entwicklung Unterstützung liefern. Diese wurden bereits von der INCOSE auf Systems Engineering übertragen [Inc12] und in Ansätzen wie dem Agilen Software Systems Engineering oder Design Thinking angewendet [DD17]. Dies bestätigt auch den bereits identifizierten Bedarf an flexiblen Prozessen [GDS+13]. Die agilen Werte und Prinzipien werden in unterschiedlichen Vorgehensmodellen umgesetzt, ein typischer Vertreter ist das im Folgenden beschriebene Scrum [SS20]:

Kern des Ansatzes Scrum ist ein interdisziplinäres, agiles Team aus gleichberechtigten Mitarbeitern. Der Scrum Master sorgt für einen störungsfreien Ablauf und unterstützt die Selbstorganisation des Teams. Der Product Owner definiert und priorisiert Anforderungen. Die Wünsche des Product Owners werden in einem sogenannten Product Backlog gesammelt. Die Abarbeitung der Aufgaben erfolgt im Sprint-Modus. Jeder Sprint ist gleich lang (z. B. 2 Wochen). Im Rahmen eines solchen Sprints wird eine vorher definierte Menge an Backlog-Items vom Team abgearbeitet, das Ergebnis ist üblicherweise ein funktionsfähiges Inkrement des Produkts und wird im Rahmen des Sprints auch getestet. Am Ende wird es dem Product Owner übergeben. Während eines laufenden Sprints hat der Product Owner keinen Einfluss auf das Team. Nach dem Sprint wird in einem Sprint-Retrospektive Meeting besprochen was gut lief und wo Verbesserungspotential vorliegt. Längere Besprechungen werden vermieden, stattdessen werden in einem täglichen „Daily“ kurz in 5 Minuten der aktuelle Fortschritt und mögliche Hindernisse besprochen. Detailliertere Absprachen erfolgen ausschließlich zwischen den direkt Betroffenen [WR15]. Agile Vorgehensweisen und SE widersprechen sich nicht und können bei Bedarf vergleichbar mit Mikro- und Makrozyklen synergetisch eingesetzt werden.

In der Praxis sind detaillierte Methoden und Richtlinien notwendig, um Anwender zu unterstützen. Ansätze wie das V-Modell oder Scrum bieten eine gute Orientierung, aber es mangelt üblicherweise an einfach anwendbaren Methoden und Richtlinien [SSG09]. Entwicklungshandbücher sollen diese Lücke schließen, bieten jedoch typischerweise auch nicht die notwendige Detaillierung [Tsc16].

2.2.3 Organisation der Produktentwicklung

Um Produkte in einem Unternehmen gemäß eines gewählten Entwicklungsansatzes zu entwickeln, muss die Organisation auf diesen Ansatz ausgerichtet sein. Hier wird zwischen der Aufbauorganisation und der Ablauforganisation unterschieden. Die **Aufbauorganisation** entspricht der statischen Struktur des Unternehmens, bestehend aus Arbeitsstellen, Organisationseinheiten und deren Beziehungen. Hierzu zählen Hierarchien, Verantwortlichkeiten, Weisungs- und Entscheidungsrechte [SBL10]. Diese können nach Funktion (z. B. Einkauf, Produktion, ...) oder Objekt (z. B. Kunde, Vertriebsrechte, ...)

gegliedert oder geregelt werden [Sch00]. Typische Strukturen sind Linienorganisationen, Stab-Linien-Organisationen und Matrixorganisationen.

Die **Ablauforganisation** stellt eine zeitlich dynamische Sicht auf das Unternehmen dar und beschreibt Aufgaben bzw. Aktivitäten sowie das räumliche, zeitliche und inhaltliche Zusammenwirken von Arbeitspersonen, Arbeits- und Betriebsmitteln und Arbeitsobjekten. Zur Ablauforganisation wird auch die Planung, Gestaltung und Steuerung von Arbeitssystemen gezählt. In Tabelle 2-2 werden die Unterschiede zwischen Aufbau- und Ablauforganisation dargestellt.

Tabelle 2-2: Abgrenzung der Ablauf- und Aufbauorganisation nach [SBL10]

	Aufbauorganisation	Ablauforganisation
Elemente	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Stellen ▪ Organisationseinheiten 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Aufgaben bzw. Aktivitäten
Relationen	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Weisungs- und Entscheidungsbefugnisse ▪ Berichtswege 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Zeitlich-logische Abhängigkeiten (Vorgänger, Nachfolger) ▪ Informations- und Materialflüsse

VAHS weist darauf hin, dass eine strikte Trennung zwischen Aufbau- und Ablauforganisation nicht praxisgerecht ist und beide Aspekte in ihren Abhängigkeiten zueinander betrachtet werden müssen [Vah05]. Während in der Vergangenheit oft zunächst die Aufbauorganisation definiert wurde, ist im letzten Jahrzehnt der Trend aufgekommen, zunächst die Abläufe zu definieren und im zweiten Schritt die Aufbauorganisation dazu passend zu gestalten [Gai04], [Vah05], [OF06].

Für die Entwicklungsarbeit nimmt das Projekt einen besonderen Stellenwert ein. Ein Projekt hat einen definierten Start- und Endpunkt, definierte Ressourcen aus der Aufbauorganisation und eine definierte Aufgabe [Neu17]. Das Projekt prägt den generischen Entwicklungsprozess konkret aus, um das Projektziel zu erreichen. Wichtig hierbei ist, dass diese Ausprägung abhängig von den konkreten Rahmenbedingungen des Projektes ist und bei unterschiedlichen Rahmenbedingungen auch unterschiedliche Prozesse ausgeprägt werden können. So muss im Rahmen einer Neuentwicklung beispielsweise intensiver an der Spezifikation gearbeitet werden als im Rahmen eines Kostenoptimierungsprojekts. Das Ausprägen eines Prozesses für ein Projekt wird **Tailoring** genannt [ISO15288]. Die Herausforderung hierbei ist, die Prozesse so zu gestalten, dass sie durch Tailoring auf die verschiedenen Bedarfe angepasst werden können, ohne dabei zu unterschiedlich abzulaufen, da sonst beispielsweise Synergiepotentiale nicht mehr greifen können. Ohne Tailoring sind Prozesse jedoch zu unflexibel [BP11].

Innerhalb von Produktentwicklungsprojekten kommt der frühen Phase (auch Konzeptphase genannt) besondere Bedeutung zu. In dieser Phase wird der Großteil der späteren

Lebenszykluskosten³ eines Produkts festgelegt. Verschiedene Quellen gehen dabei von 70 bis 75% der Kosten aus [Dil78], [Inc12]. Gleichzeitig fällt nur ein geringer Teil dieser Kosten schon in der Konzeptphase an. Zudem steigen im Laufe der Zeit auch die Kosten zur Beseitigung von Mängeln, sodass ein früh erkanntes Problem deutlich kostengünstiger gelöst werden kann. Bild 2-9 stellt diesen Zusammenhang dar. Dies gilt umso mehr, je mehr Entwicklungspartner einbezogen werden.

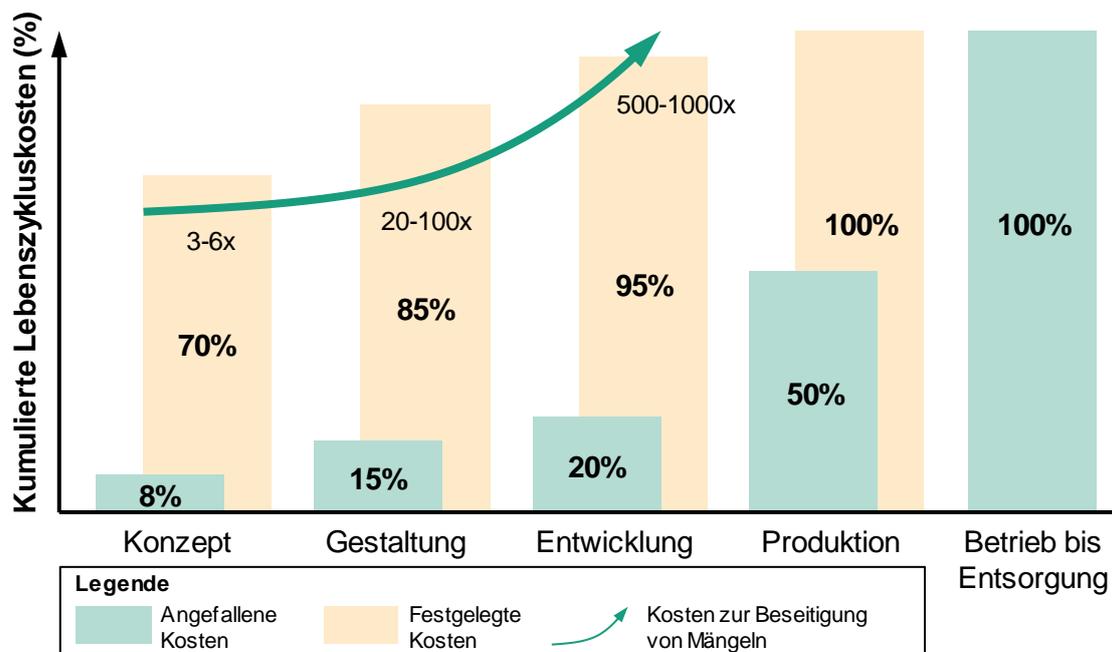


Bild 2-9: Verlauf der Lebenszykluskosten im Produktlebenszyklus [INC12]

Organisation der Produktentwicklung in der Praxis

Entwicklungsabteilungen in den betrachteten Industrien sind üblicherweise über Jahrzehnte historisch parallel zur Entwicklung von mechanischen über mechatronische hin zu Intelligenten Technischen Systemen gewachsen. Dementsprechend besteht eine Trennung nach Disziplinen, üblicherweise durch eigene Abteilungen für die Entwicklung von Mechanik, Elektrik/Elektronik und Software. Silo- und Abteilungsdenken sind eine Konsequenz. Erschwert wird die Situation zusätzlich durch unterschiedliche Zykluszeiten für Innovationen und Aktualisierungen in den verschiedenen Disziplinen [EB08]. Während mechanische Produkte, z. B. aufgrund von Werkzeuglieferzeiten, frühzeitig im Prozess einen finalen Stand erreicht haben müssen, kann Software noch bis zur Herstellung und darüber hinaus aktualisiert werden. Aus diesem Grund folgt die Entwicklung in den unterschiedlichen Disziplinen oftmals anderen Prämissen. Während für die mechanische Entwicklung immer noch Phasen-Meilenstein-Modelle mit einem eher wasserfallartigen Ablauf üblich sind, hat sich in der Elektrotechnik/Elektronik oftmals ein Vorgehen nach

³ Kumulierte Kosten eines Produkts. Umfasst u.a. Entwicklungs-, Fertigungs- und Servicekosten.

dem V-Modell etabliert. In der Softwareentwicklung wird heute oftmals das Paradigma der agilen Entwicklung verfolgt. Die strukturelle Trennung der Disziplinen und die unterschiedlichen Vorgehensweisen werden in Bild 2-10 dargestellt.

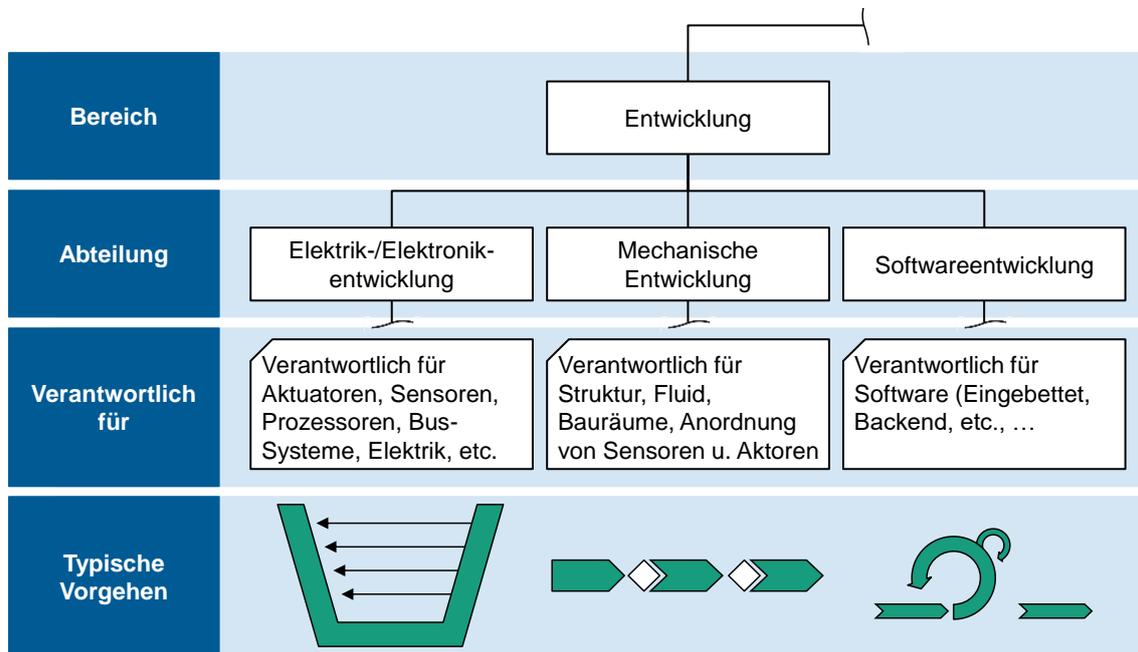


Bild 2-10: Typische Strukturen und Vorgehen in der Produktentwicklung

2.2.4 Nutzung von Modellen in der Produktentwicklung

Der Begriff „Modell“

Ob im MBSE, bei CAx-Modellen (Computer Aided x) oder an anderen Stellen, der Begriff Modell nimmt in der Produktentwicklung eine wichtige Stelle ein. Die allgemeine Modelltheorie nach STACHOWIAK beschreibt die wesentlichen Grundsätze eines jeden Modells, charakterisiert durch drei Merkmale [Sta73]:

- **Abbildung:** Ein Modell bildet ein reales System oder ein Konzept mit dessen Eigenschaften ab.
- **Verkürzung:** Abhängig vom Zweck des Modells werden nur die Eigenschaften des realen Systems abgebildet, die zur Erfüllung des Zwecks notwendig sind. Dies reduziert den Aufwand zur Erstellung des Modells erst auf ein Maß, welches eine Modellierung mit Mehrwert ermöglicht.
- **Pragmatismus:** Ein Modell ersetzt das Reale System unter bestimmten Rahmenbedingungen. Sie sind für den Einsatz durch bestimmte Subjekte innerhalb bestimmter Zeiträume für bestimmte Zwecke geschaffen.

Neben den beschriebenen Eigenschaften nach STACHOWIAK gibt es Ansätze zur Klassifikation von Modellen, etwa zur Unterscheidung zwischen physischen Modellen, mathematischen Modellen oder ausführbaren Modellen [Wei13] oder zwischen informalen,

semi-formalen oder formalen Modellen [Abu12]. Diese Kategorisierungen sind im Bereich des MBSE insofern relevant, als dass verschiedene Autoren ein Modell erst als solches akzeptieren, wenn es formal ist und/oder digital modelliert ist [Alt12]. Mit dieser Einschränkung wäre ein handgezeichnetes Modell nicht möglich, was im Gegensatz zur STACHOWIAKS Modelltheorie steht. Das Verständnis des Modellbegriffs in dieser Arbeit folgt der Modelltheorie nach STACHOWIAK, weitere Unterscheidungen werden als unterschiedliche Klassen von Modellen verstanden.

Modelle in der Produktentwicklung

Im Rahmen der Produktentwicklung werden vielfältige Modelle eingesetzt. So etwa zur Definition der Gestalt eines Bauteils (CAD), zur Beschreibung von Abläufen (z. B. Aktivitätsdiagramme) oder zur Planung von Fertigungsabläufen (Digitale Fabrik). Diese Modelle sind zwar etabliert, aber üblicherweise nicht miteinander verbunden, die jeweiligen Begriffswelten sind nur für einzelne Disziplinen verständlich. Gleichzeitig wird immer deutlicher, dass das Zusammenspiel verschiedener Modelle große Potentiale aufweist, etwa im Themenfeld des Digital Twin [SV19]. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass Modelle in der Entwicklung dort eingesetzt werden, wo Zusammenhänge zu umfangreich oder komplex sind, um sie ohne entsprechende Modelle zu beherrschen (vgl. Kapitel 2.1.2).

2.2.5 Herausforderungen der Produktentwicklung

Die in Kapitel 2.1 beschriebene Veränderung technischer Systeme hin zu ITS und CPS erhöht neben der Produktkomplexität auch die Komplexität der Entwicklungsarbeit. Methoden und Ansätze der Produktentwicklung entwickeln sich gemeinsam mit den technischen Rahmenbedingungen weiter, um so die Entwicklung von Systemen der jeweils nächsten Generation zu ermöglichen. In der Vergangenheit reichten hierzu Verbesserungen der disziplinspezifischen Ansätze aus. Zusätzlich zur Produktkomplexität steht aufgrund immer kürzerer Produktlebenszyklen weniger Zeit für die Entwicklung zur Verfügung; selbiges gilt für die benötigte Zeit, um sich auf neue Technologien einzustellen [Inc07-ol], [Wit07], [GDS+13]. Ein zentraler Erfolgsfaktor für erfolgreiche Produktentwicklung in der Zukunft ist daher die interdisziplinäre Zusammenarbeit und Kommunikation [SE12a], [IKD+13], [ISO26702], [GLL12].

Diese disziplinübergreifende Zusammenarbeit stellt wiederum eine eigene Herausforderung dar [GDS+13]. Disziplinspezifische Sprachen und Methoden erschweren das Erzeugen eines disziplinübergreifenden Verständnisses [VDI2206]. Eine weitere Herausforderung ergibt sich aus der Dokumentenzentrierung heutiger Entwicklungsarbeiten. Wissen wird häufig in Dokumenten beschrieben und gespeichert. Dies führt schnell zu Redundanz und zu Fehlern, da z. B. eine Änderung nicht bemerkt wird oder auf Basis eines veralteten Dokuments gearbeitet wird [Alt12]. Bestehende Werkzeuglösungen zur durchgängigen Verwaltung von Daten entlang des Lebenszyklus liefern nicht die versprochenen Funktionen [HHP17]. Die Integration verschiedener Werkzeuge zu lückenlosen

Werkzeugketten ist weiterhin eine hochkomplexe Aufgabe [VDI2206], [GDS+13]. Es wird deutlich, dass der nächste Ansatz für die Verbesserung der Entwicklung interdisziplinär ausgerichtet sein muss (s. Bild 2-11).

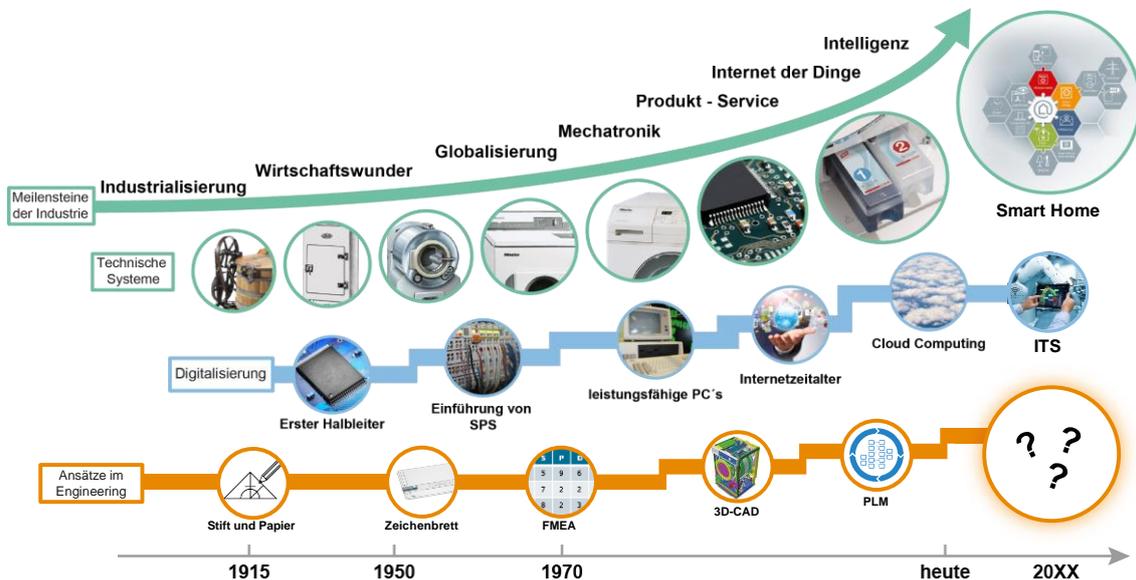


Bild 2-11: Entwicklung der Ansätze der Produktentwicklung über die Zeit

Eine weitere Herausforderung für die Produktentwicklung stellt die Geschwindigkeit und Vielzahl von Veränderungsmaßnahmen dar – einzuführende Methoden und Konzepte, etwa PLM und Agile Entwicklung, sowie die immer kürzeren Updatezyklen der genutzten Entwicklungsplattformen führen zu einer Komplexität, die Entwickler belastet [LMB09]. Maßnahmen zu den verschiedenen Veränderungen müssen daher gut aufeinander abgestimmt und konsequent durchgeführt werden. Während Modelle bereits an vielen Stellen von einzelnen Disziplinen in der Produktenwicklung genutzt werden, helfen diese aufgrund der disziplinspezifischen Ziele und Begriffswelten wenig bei der Kommunikation zwischen Disziplinen [MS18].

Fazit Kapitel 2.2: Große Unternehmen der Branchen Maschinen- und Anlagenbau, Automotive sowie Hersteller von elektrischen Geräten sind von besonderer Bedeutung für die deutsche Wirtschaft. Ihr Erfolg hängt wiederum stark von ihrer Produktentwicklung ab. Diese ist heute nach Disziplinen gegliedert. Die Disziplinen setzen unterschiedliche Vorgehensmodelle ein. Auf Basis der immer kürzeren Entwicklungszyklen, höherer Kundenansprüche und technologischer Neuerungen ergibt sich jedoch ein starker Bedarf für die interdisziplinäre Zusammenarbeit. Dieser kann von vorhandenen Vorgehensweisen nicht gedeckt und durch vorhandene Modelle kaum unterstützt werden.

2.3 Systems Engineering und Model-Based Systems Engineering

Systems Engineering wurde für komplexe Großprojekte entwickelt. Es hat sich in den Branchen Luft- und Raumfahrt sowie der Rüstungsindustrie als zentraler Entwicklungsansatz etabliert. Vor dem Hintergrund der steigenden Komplexität von Produkten und Produktentwicklung stellt SE heute auch für die im Rahmen dieser Arbeit betrachteten Branchen einen vielversprechenden Ansatz zur Lösung wesentlicher Herausforderungen der Produktentwicklung dar. Handbücher, Good Practices und Nutzenbetrachtungen spiegeln bislang jedoch größtenteils den klassischen Anwendungsbereich der Luft- und Raumfahrt-, sowie der Rüstungsindustrie wider [Hon13], [Hon05].

Grundlage des Systems Engineerings ist die **Systemtheorie**. Diese hat zum Ziel, ein System als Ganzes mit seinen internen und externen Abhängigkeiten zu betrachten, statt nur scheinbar einzeln lösbare Teilprobleme. Dieser Ansatz stammt ursprünglich aus der Biologie [Ber32] und entwickelte sich insbesondere im Rahmen von Großprojekten in den USA, z. B. bei den Bell Laboratories, zu dem heute bekannten Systems Engineering weiter [Bud00]. Zu dieser praktisch getriebenen Entwicklung des SE kommt in der jüngeren Vergangenheit das Bestreben, SE verstärkt durch wissenschaftliche Methoden zu bereichern [Sys14]. Dadurch entstand eine kaum zu überblickende Vielfalt an Ausprägungen, Methoden und Standards [Kas10], [Hon05]. Seit den 1990er Jahren wird, insbesondere durch das International Council on Systems Engineering (INCOSE), versucht, verschiedene Bestrebungen zu konsolidieren und damit SE als branchenübergreifenden Ansatz zu etablieren, wie beispielsweise in der INCOSE Vision 2025 dargestellt [Inc15].

Unter **Model-Based Systems Engineering** wird die formalisierte Anwendung der Modellierung zur Unterstützung der SE-Aktivitäten verstanden [Inc07-ol]. In diesem Sinne erweitert MBSE das klassische SE und kann nicht losgelöst von SE betrachtet werden. Im folgenden Abschnitt wird zunächst Systems Engineering näher erläutert. In Kapitel 2.3.2 werden anschließend MBSE-spezifische Aspekte näher beschrieben.

2.3.1 Kernaspekte des Systems Engineerings

Entsprechend der Vielzahl an Standards und Normen und dem großen Umfang des SE gibt es viele von Definitionen. Eine junge Definition des Systems Engineering Body of Knowledge (SEBoK) umfasst dabei wesentlichen Aspekte älterer Definitionen:

SE is “[...] an interdisciplinary approach and means to enable the realization of successful systems. It focuses on holistically and concurrently understanding stakeholder needs; exploring opportunities; documenting requirements; and synthesizing, verifying, validating, and evolving solutions while considering the complete problem, from system concept exploration through system disposal” [SEBoK19].

Systems Engineering kann demnach wie folgt charakterisiert werden:

- SE ist ein disziplinübergreifender Ansatz zur erfolgreichen Realisierung von Systemen [INC12], [Mar97], [GDS+13], [SEBoK19]
- Die frühe Identifikation von Bedarfen und Anforderungen ist von besonderer Bedeutung [Cha74], [INC12], [SEBoK19]
- SE adressiert sowohl technische Aspekte als auch Projekt(-management) [Mar97], [INC12], [GDS+13]
- SE adressiert den gesamten Produktlebenszyklus von der Idee bis zur Entsorgung [BSJ+09], [INC12], [SEBoK19]

Nach HITCHINS kann SE im Rahmen der Produktentstehung auf fünf verschiedenen Ebenen betrachtet werden (s. Bild 2-12). Dabei sind untergeordnete Ebenen jeweils Bestandteil aller übergeordneten Ebenen. Auf unterster Ebene steht das **produktbezogene SE**. Es betrifft das zu entwickelnde System. Das **projektbezogene SE** schließt das produktbezogene SE ein und fügt den Fokus auf die Optimierung der Vorgehensweise im Entwicklungsprojekt hinzu. Auf Ebene des **unternehmensbezogenen SE** kommen unternehmensinterne Aufgaben zur Wertschöpfungsoptimierung hinzu. Sobald diese Optimierung auch Partner und Zulieferer, also ganze Wertschöpfungsnetzwerke, betrifft, spricht HITCHINS von **industriembezogenem SE**. Auf oberster Ebene steht das **sozioökonomische SE**, welches das Verhältnis zu den verschiedenen Stakeholdern miteinschließt [Hit07].

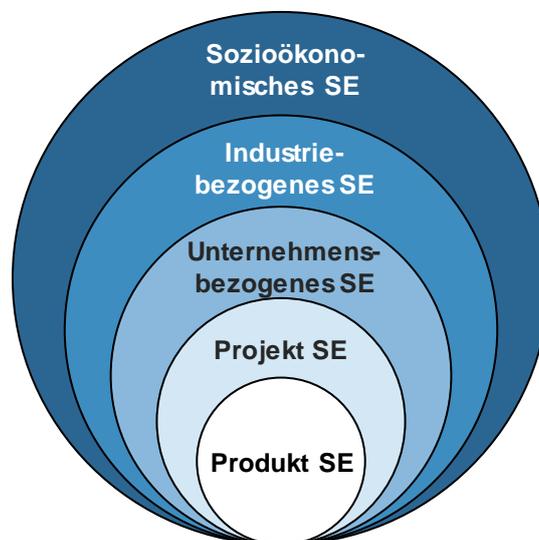


Bild 2-12: 5 Systems Engineering Ebenen nach HITCHINS [Hit07]

Während HITCHINS beschreibt, welche Ebenen des Systems Engineering bestehen, zeigt HABERFELLNER mit dem „SE-Männchen“, welche Teilaspekte SE ausmachen (vgl. Bild 2-13). „Kopf“ des Systems Engineering ist die SE-Philosophie, bestehend aus Systemdenken und Vorgehensmodell. Den „Torso“ bildet der Problemlösungsprozess mit den technischen Aspekten rund um die Systemgestaltung sowie dem Projektmanagement. Beides „füßt“ auf den Techniken der Systemgestaltung und des Projektmanagements.

Das **Systemdenken** ist eine Denkweise zur ganzheitlichen und systemischen Betrachtung von Systemen. Sie hilft, die Zusammenhänge in Systemen zu verstehen und somit das System besser gestalten zu können [Inc12], [HWF+12]. Das **Vorgehensmodell** stellt einen Leitfaden dar, welcher die Entwicklung in verschiedene Teilprozesse gliedert. Das Vorgehensmodell folgt dabei vier Grundgedanken:

- Top Down: Das SE-Vorgehen erfolgt vom Groben zum Detail, gefundene Teillösungen werden später zur Gesamtlösung integriert.
- Varianten: Entlang des Vorgehens wird eine konsequente Suche nach Alternativen durchgeführt.
- Ablauf: Die verschiedenen Teilprozesse gliedern sich in Phasen, die nach zeitlichen Gesichtspunkten gliedert einen Gesamtprozess darstellen.
- Problemlbenszyklus: Für die Lösung konkreter Probleme wird ein allgemeingültiger Problemlösungszyklus angewandt, der unabhängig von der aktuellen Phase zur Problemlösung durchlaufen wird.

Die **Systemgestaltung** umfasst die fachlichen Aktivitäten im Rahmen des Problemlösungsprozesses. Kern ist dabei die Gestaltung von Systemkonzept und Systemarchitektur. Das **Projektmanagement** adressiert die im Rahmen des Problemlösungsprozesses anfallenden organisatorischen Aspekte. Alle Aufgaben werden durch zugehörige Techniken unterstützt. Beispiele für Techniken im Bereich der Systemgestaltung sind Methoden wie CONSENS [GLL12], Harmony SE [Hof14] oder SysMod [Wei14].

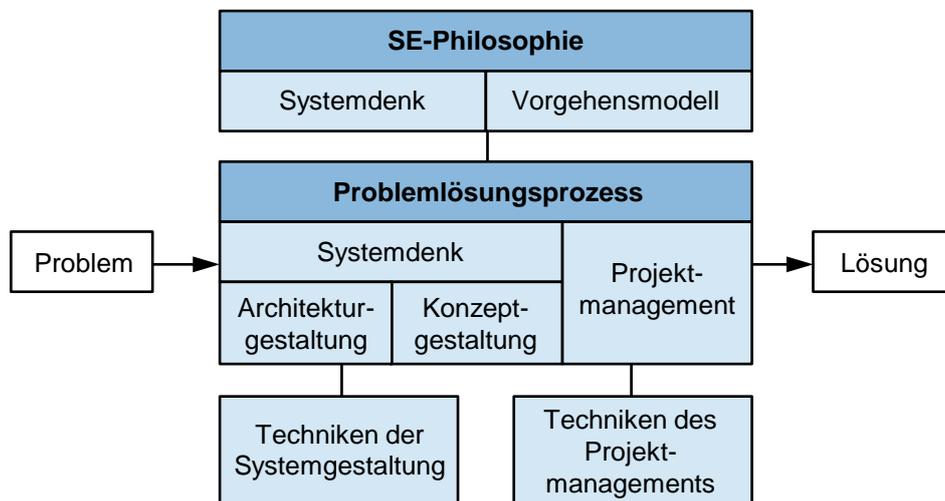


Bild 2-13: Das „SE-Männchen“ nach HABERFELLNER [HWF+12]

Die Norm ISO15288:2015, an der sich auch das INCOSE Systems Engineering Handbuch orientiert [Inc15], stellt die Prozesse und Tätigkeiten im Rahmen des Problemlösungsprozesses dar. Hierzu wird zwischen vier übergeordneten Prozessbereichen und 30 konkreten Prozessen unterschieden. Die **technischen Managementprozesse** können dem Projektmanagement nach HABERFELLNERS zugeordnet werden und umfassen neben

der Projektplanung, -bewertung und -steuerung auch Aspekte wie Risiko-, Entscheidungs-, Konfigurations- und Informationsmanagement. Die **technischen Prozesse** beschreiben die technischen Aufgaben des Problemlösungsprozesses. Von zentraler Bedeutung und im Fokus der vorliegenden Arbeit sind hier die frühen Schritte Geschäfts- bzw. Missionsanalyse, Definition der Stakeholderanforderungen, die Anforderungsanalyse und Architekturgestaltung. Die **organisatorischen Projekt-Unterstützungsprozesse** und die **Vertragsprozesse** stehen orthogonal zum Problemlösungsprozess und unterstützen diesen durch die Bereitstellung notwendiger Aspekte wie Wissen (Wissensmanagement) oder Infrastruktur (Infrastrukturmanagement). Bild 2-14 stellt alle Prozesse in der Übersicht dar.

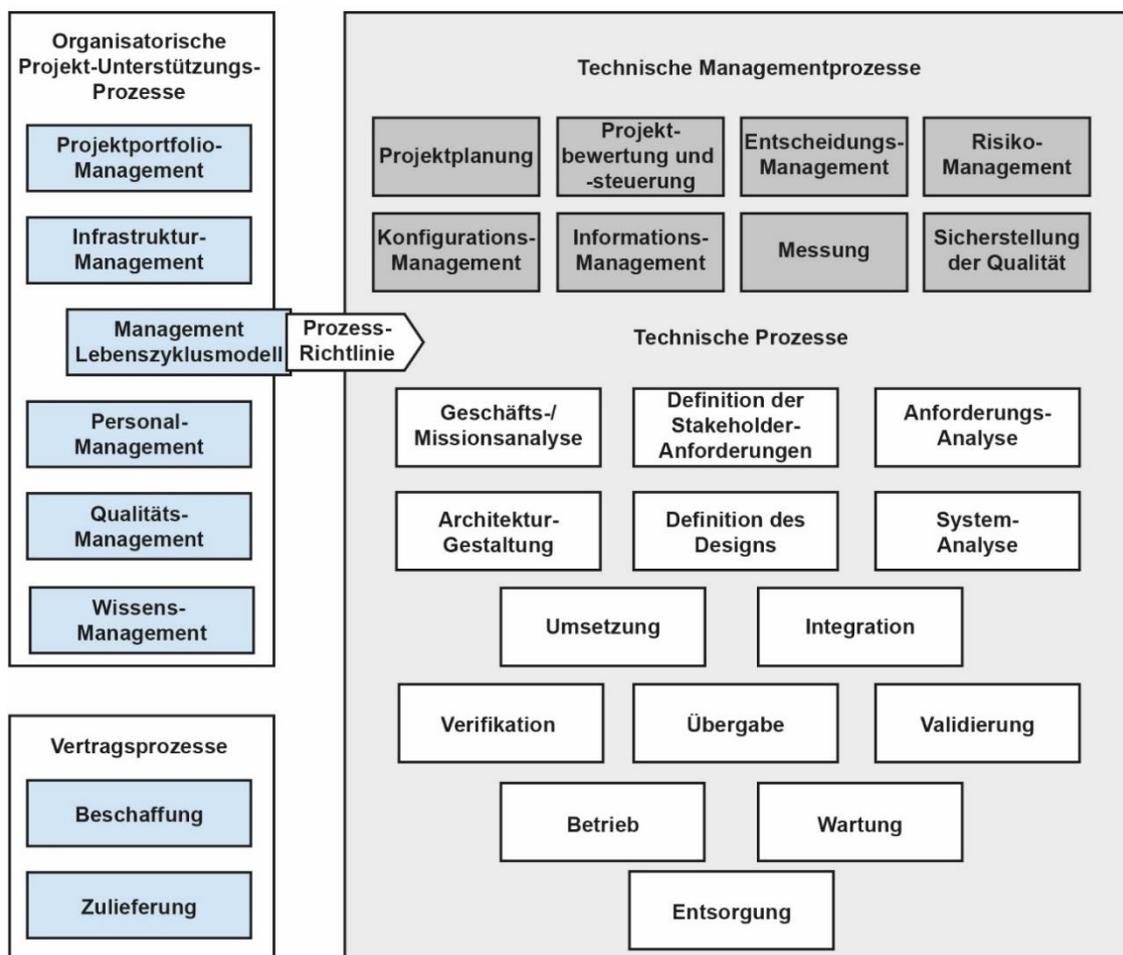


Bild 2-14: Prozesse und Prozessklassen der ISO 15288:2015, Darstellung angelehnt an das GfSE Systems Engineering Handbuch [Inc12], Übersetzung nach TSCHIRNER [Tsc16]

Es wird deutlich, dass SE ein umfassender Ansatz ist, der neben den etablierten Disziplinen und Projektbeteiligten auch ganze Wertschöpfungsketten betreffen kann. SE umfasst Denkweisen, Prozesse und Methoden, Projektmanagement und dedizierte Techniken zur Unterstützung der SE-Aufgaben. Im Rahmen dieser Arbeit wird Systems Engineering daher als eine eigene Disziplin der Produktentwicklung betrachtet.

2.3.2 Kernaspekte des Model-Based Systems Engineering

Die Grundidee, Modelle zur Unterstützung der Entwicklungstätigkeiten zu verwenden, ist Teil des Systems Engineerings. Dennoch liegt der klassischen Anwendung des SE das Paradigma der Dokumentenzentrierung zugrunde [ISO15288], [GDE+19], [MS18]. Modelle werden hierbei gezielt zur Beantwortung einzelner Aufgabenstellungen verwendet, im Fokus der Entwicklungsprozesse stehen jedoch Dokumente und die damit verbundenen Tätigkeiten zur Erstellung, Freigabe, etc. Aufgrund der hochgradig vernetzten Natur von Informationen in der Entwicklung ergeben sich bei diesem Ansatz Herausforderungen und große Aufwände bei der Sicherstellung von Traceability und Konsistenz sowie der Vermeidung von Redundanz [Alt12], [MS18]. Model-Based Systems Engineering adressiert diese Herausforderungen, indem es ein zentrales Systemmodell in den Mittelpunkt der Entwicklung stellt [FMS14], [Inc07-ol]. Dadurch soll ein Paradigmenwechsel weg von dokumentenzentrierten Prozessen hin zu modellbasierten Vorgehensweisen erreicht werden [Inc07-ol]. Weit verbreitet ist die Definition nach INCOSE:

„Model-based systems engineering (MBSE) is the formalized application of modeling to support system requirements, design, analysis, verification and validation activities beginning in the conceptual design phase and continuing throughout development and later life cycle phases. MBSE is part of a long-term trend toward model-centric approaches adopted by other engineering disciplines, including mechanical, electrical and software“ [INC07-ol].

MBSE unterscheidet sich vom klassischen SE demnach vor allem im Grad der Formalisierung der Modellnutzung. Oftmals wird zudem gefordert, dass das Systemmodell im MBSE ein formales, rechnergestützt abgebildetes Modell sein muss [Alt12], [BSM12], [Wei14], [MS18]. Wenngleich nicht Teil der INCOSE-Definition, ist dieser Anspruch sinnvoll. Ein großer Teil der durch MBSE angestrebten Vorteile kann erst durch ein digitales Systemmodell erreicht werden, welches als „Single Source of Truth“ Redundanzfreiheit, Konsistenz und effiziente Traceability ermöglicht.

Zur Beschreibung und Nutzung des Systemmodells sind Modellierungssprachen, Modellierungsmethoden und Software-Modellierungswerkzeuge notwendig (s. Bild 2-15) [FMS12], [IKD+13]. Die Arbeit mit Sichten auf das Modell ermöglicht einen effizienten Umgang mit der Informationsvielfalt. Im Folgenden werden zunächst Sprache, Methode und Software erläutert. Anschließend werden das Systemmodell und die Arbeit mit diesem über Sichten detaillierter beschrieben.

Eine **Modellierungssprache** im MBSE soll fachdisziplinübergreifend verstanden und genutzt werden können [Wei14]. Das Verständnis der Modellierungssprache ermöglicht das Lesen und Verstehen sowie das Dokumentieren des mit ihrer Hilfe beschriebenen Systemmodells. Im MBSE werden semi-formale oder formale grafische Modellierungssprachen verwendet, welche über ihre Syntax und Semantik in einem Metamodell definiert werden [Kai14]. Die abstrakte **Syntax** beschreibt die Konstrukte der Sprache sowie

die Regeln zur Zusammenstellung dieser Konstrukte zu größeren Konstrukten. Die konkrete Syntax beschreibt die Notation dieser Konstrukte [PM06]. Die **Semantik** definiert, wann und auf welche Weise Sprachkonstrukte verknüpft werden können. Die Bedeutung der Konstrukte und ihrer Verknüpfung wird durch die dynamische Semantik definiert [Kai14]. Mit welchem Vorgehen ein Modell aufgebaut werden kann, beschreibt eine Modellierungssprache, entgegen der in der Industrie oft anzutreffenden Annahme, nicht. Typische Sprachen im MBSE sind SysML [OMG17-ol], CONSENS [GDE+19] und OPL/OPD [ISO19450]. SysML ist die am weitesten verbreitete Modellierungssprache, aufgrund ihres Ursprungs in der UML gibt es diverse Softwarewerkzeuge, welche die SysML unterstützen. Der UML-eigene Profilmechanismus erlaubt eine bedarfsabhängige Anpassung der Sprache, was jedoch Verständnis und Austausch von Modellen erschweren kann [MS18].

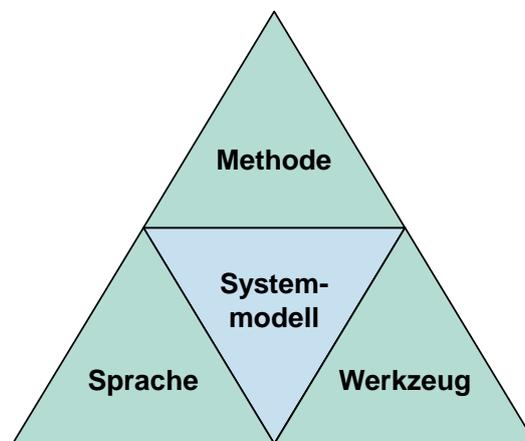


Bild 2-15: MBSE-Dreieck, nach [Kai14]

Modellierungsmethoden definieren, mit welchem Ziel und auf welche Weise eine Modellierungssprache eingesetzt wird. Dazu definiert die Methode welche Inhalte in welcher Reihenfolge erstellt werden [Est08], [RFB12]. Es existiert eine Vielzahl von MBSE-Methoden (vgl. CONSENS [GDE+19], Harmony SE [Hof14], SysMod [Wei14], etc.), was zu einer gewissen Unübersichtlichkeit des Feldes führt.

Modellierungswerkzeuge unterstützen die Erstellung digitaler Modelle auf Basis von Sprache und Methode. Sie ermöglichen zudem die Navigation und Suche in Modellen sowie deren Anpassung. Abhängig vom Werkzeug wird das Systemmodell direkt über das Modellierungswerkzeug verwaltet oder von einem dedizierten System zur Datenverwaltung in einem separaten Repository gespeichert. Dabei muss das Modell jedoch nicht zwingend in einem einzelnen Repository liegen – auch verteilte Repositorien mit geeigneten Schnittstellen untereinander sind geeignet [Wei14], [MS18]. FRIEDENTHAL weist für solche verknüpften Repositorien darauf hin, dass eine Verknüpfung auf Elementebene (nicht nur auf Modellebene) notwendig ist [FMS14]. Dabei können Repositorien direkt oder durch ein Product Lifecycle Management miteinander verknüpft werden [VWB+09]. Wenngleich die verfügbaren Werkzeuge bereits vielfältige Möglichkeiten bieten, sind insbesondere deren fehlende Schnittstellen bislang ein Hemmnis zur weiteren

Verbreitung des MBSE (siehe Kapitel 2.3.4). In der Praxis liefern die verfügbaren Werkzeuge noch nicht die versprochenen Funktionen [HHP17]. Die weitere Verknüpfung vorhandener Informationen und Modelle, beispielsweise im Zuge des Trends zum Digitalen Zwilling [SV19], verspricht jedoch eine weitere Zunahme der praktisch umsetzbaren Mehrwerte des MBSE.

Das Systemmodell

Beim MBSE steht das Systemmodell im Mittelpunkt der Entwicklung [FMS14], [Inc07-ol]. Im Folgenden werden zunächst seine Eigenschaften und anschließend seine Verwendung beschrieben. Es umfasst Inhalte zu **Anforderungen, Struktur und Verhalten** des betrachteten Systems [Alt12], [GFD+08]. Diese können dabei abhängig von der verwendeten Methode und Sprache mithilfe verschiedener Partialmodelle beschrieben sein [GDE+19]. Das Modell unterstützt den gesamten Umfang der MBSE-Aktivitäten, kann nach INCOSE-Definition also von der Anforderungsaufnahme über Design und Analyse bis zur Verifikation und Validierung des Systems unterstützen [INC07-ol]. Um diese Zwecke zu erfüllen, sollte auch das Modell selbst abgesichert werden. Die Verifikation des Modells stellt sicher, dass das Modell korrekt ist. Das umfasst die syntaktische und semantische Richtigkeit [GDE+19]. Die syntaktische Richtigkeit stellt sicher, dass das Modell gemäß Metamodell und Modellierungsregeln korrekt ist und kann über Regeln geprüft werden [Kai14]. Die semantische, also inhaltliche Richtigkeit kann bislang nur manuell geprüft werden. Zudem sollte das Modell vollständig, konsistent und nachvollziehbar sein. Vollständig steht dabei nicht im Widerspruch zur Modelltheorie, sondern bedeutet in diesem Kontext, dass alle für den Modellierungszweck relevanten Elemente, Beziehungen und Einschränkungen im Modell enthalten sind. Die Validierung des Modells stellt sicher, dass das Modell das reale System in geeigneter Weise abbildet [MS18].

Nach KAISER erfüllt das Systemmodell im Kern sechs Zwecke [Kai14]: Durch die ganzheitliche Betrachtung des Systems ermöglicht das Systemmodell eine **interdisziplinäre Systembetrachtung**, umfasst also Inhalte, die für mehrere Disziplinen relevant sind. Es ist das **Bindeglied zwischen Produktdaten** und ermöglicht das Herstellen der Traceability zwischen allen Inhalten des Systemmodells und weiteren disziplinspezifischen Modellen. Es unterstützt die **Kommunikation und Kooperation** zwischen den Beteiligten in ihren verschiedenen Disziplinen. Durch seine interdisziplinäre Erarbeitung im Zuge der frühen Entwicklungsphasen stellt das Systemmodell den **Ausgangspunkt der Konkretisierung** in den Disziplinen dar und liefert nötige Input-Informationen für diese. Ausgehend vom Paradigma der Modellzentrierung erfolgt die **Dokumentation** relevanter Inhalte direkt im Systemmodell. Notwendige Dokumente werden lediglich aus dem Modell ausgeleitet, während aktuelle Informationen im Modell verfügbar sind. Wichtig ist, dass ein ausgeleitetes Dokument eine statische Sicht auf einen bestimmten zeitlichen Stand des Modells darstellt und nicht im Laufe der weiteren Arbeit verändert wird [Wei14]. Sollte eine Änderung notwendig sein, muss diese im Modell durchgeführt werden. Zudem unterstützt das Systemmodell die **Verifikation und Validierung** des Systems, etwa

durch die Verwendung von Inhalten als Input für qualitative Methoden wie der FMEA [Alt12] oder durch ausführbare Systemmodelle [Kai14].

Abhängig vom Nutzer des Systemmodells und dessen Aufgabe sind nur bestimmte Inhalte des Systemmodells von Interesse. ISO 42010 definiert im Kontext der Architekturbeschreibung, dass konkrete Bedarfe von Stakeholdern für den Zugriff auf die Modellinformationen über eine zugehörige Sicht zu befriedigen sind [ISO42010]. Das Konzept kann über die Architektur hinaus angewendet werden. Demnach kann ein Stakeholder mithilfe geeigneter Standpunkte Sichten verwenden, die seine konkreten Bedarfe adressieren. Eine solche Sicht kann ein zuvor erstelltes Diagramm oder Partialmodell sein oder eine automatisiert erstellte Darstellung. Eine Sicht blendet dabei die Teile des Modells aus, die für den konkreten Standpunkt nicht relevant sind und erreicht so eine wahrgenommene Komplexitätsreduzierung für den Anwender [GLL12]. Bild 2-16 visualisiert dieses Konzept. Eine Sicht kann sowohl zur Ansicht in einem IT-Werkzeugen als auch zur Ausleitung eines Dokuments erzeugt werden.

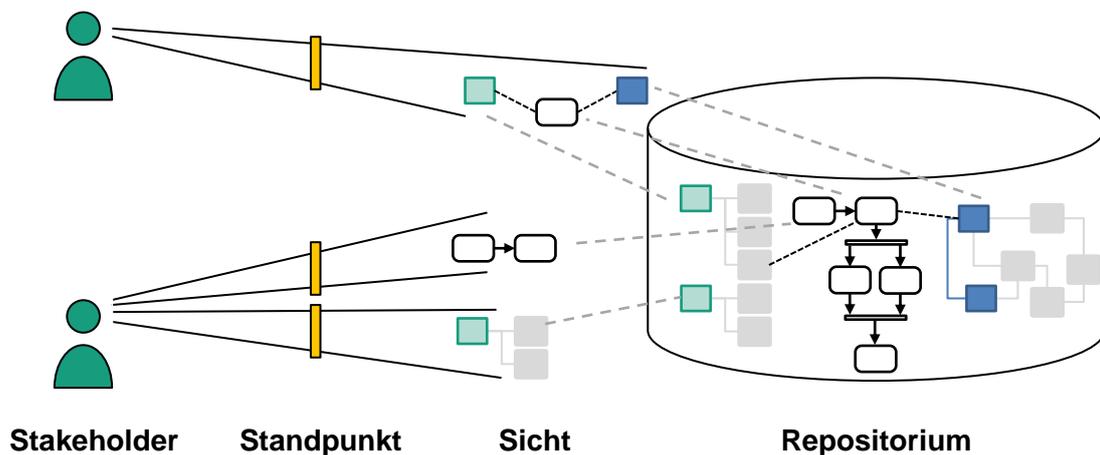


Bild 2-16: Sichtenkonzept

Im praktischen Einsatz haben sowohl SE mit der Nutzung von Modellen als auch MBSE ihren Nutzen. SE mit Modellen verzichtet auf die Einführung eines zentralen Systemmodells. Es erfordert keinen formalisierten Einsatz der Modellierung und ist entsprechend bei der Modellierung weniger aufwändig. MBSE erfordert einen höheren Grad der Formalisierung, das Etablieren eines Systemmodells und ist mit mehr Aufwand verbunden. Bei der Einführung von SE oder MBSE ist daher zu bewerten, welcher Ansatz ein geeignetes Aufwand-Nutzen-Verhältnis für das einführende Unternehmen hat. Auch bei der Anwendung von MBSE gilt es bedarfsgerecht zu arbeiten. TSCHIRNER identifiziert zur Anwendung von MBSE **vier Konzepten des MBSE** (siehe Bild 2-17) [Tsc16]:

Abhängig von den konkreten Bedarfen der Anwender sind die Konzepte unterschiedlich gut geeignet und auch mit unterschiedlichen Aufwänden für Modellierung und Tooling verbunden. Die **Innovationswerkstatt** legt den Fokus auf das Planen und Klären der

Aufgabe sowie die Anforderungsbestimmung. Workshops und informale, leicht verständliche Sprachen sind das Mittel der Wahl. IT-Unterstützung kann zur nachträglichen Dokumentation genutzt werden, die Arbeit am Brown-Paper steht jedoch im Vordergrund. Die **mechatronische Skizze** fokussiert die statische Architektur des betrachteten Systems. Zur Modellierung werden semiformale Sprachen und Diagramming-Tools empfohlen. Der konkrete Inhalt und Detailgrad der Modelle hängt vom Bedarf im Unternehmen ab. Das dritte Konzept, die **mechatronische Systemmodellierung** erweitert die mechatronische Skizze um dynamische Aspekte. Zu diesem Zweck werden formale Sprachen und Modellierungswerkzeuge eingesetzt. Die **simulationsbasierte Systemanalyse** unterscheidet sich von den anderen Konzepten: nur hier wird ein Modell von einzelnen Fachdisziplinen bottom-up erstellt. Ziel ist die Simulation verschiedener Aspekte. Dieser Ansatz ist aufgrund des hohen Aufwands am ehesten bei der Serienentwicklung in großen Unternehmen anzusiedeln [Tsr16].

		Anforderung	Struktur	Verhalten	Gestaltet	Parameter
MBSE-Konzepte	Innovationswerkstatt					
	Mechatronische Skizze					
	Mechatronische Systemmodellierung					
	Simulations-basierte Systemanalyse					

Bild 2-17: Schwerpunkte der vier MBSE-Konzepte nach TSCHIRNER [Tsc16]

Der Ansatz zeigt, dass innerhalb des MBSE verschiedene Schwerpunkte gesetzt werden, hat jedoch auch Schwächen. Es ist zum Teil fraglich, ob die Konzepte tatsächlich alle als MBSE zu verstehen sind: Die Innovationswerkstatt mit ihrem informalen Vorgehen und informale Sprachen widerspricht dem gängigen Verständnis des MBSE im Sinne der formalisierten Anwendung von Modellierung sowie des digital abzubildenden Systemmodells. Beim am stärksten formalisierten Konzept, der simulations-basierten Systemanalyse, wird der Anspruch der Vollständigkeit im Systemmodells nicht erfüllt: Es ist fraglich, welche simulationsbasierten Erkenntnisse aus dem Systemmodell gewonnen werden, wenn die Anforderungen an das System – wesentlicher Input zur Verifikation und Validierung – nicht Teil des Systemmodells bzw. des MBSE-Konzepts sind. Ist das zur simulations-basierten Systemanalyse erstellte Modell nicht das Systemmodell, so handelt es sich hierbei um „Engineering mit Modellen“ statt um MBSE. Ist es das Systemmodell, ob in einem Repository oder verteilt, fehlen Anforderungen, die jedoch existieren müssen und demnach außerhalb des Systemmodells lägen. Dies widerspricht dem Grundgedanken des MBSE.

Zusammenfassend ist MBSE als ein Ansatz zur leistungsfähigen Anwendung der Fachdisziplin SE zu verstehen, nicht als eine grundsätzlich eigene Disziplin. MBSE verfolgt dieselben Ziele und Grundprinzipien wie SE, erweitert SE jedoch um die formalisierte

Anwendung der Modellierung und damit zusammenhängende Tätigkeiten, etwa der Modellverifikation. Während im klassischen SE verschiedene Modelle genutzt werden, gibt es im MBSE ein zentrales Systemmodell, das aus verbundenen Partialmodellen bestehen kann. SE kann als Disziplin klassisch oder in Form des Ansatzes MBSE angewendet werden. Da SE integraler Bestandteil des MBSE ist, kann MBSE jedoch nicht ohne SE zur Anwendung kommen.

2.3.3 Mehrwert des SE und MBSE

Wie beschrieben sind SE und MBSE umfangreiche Themenfelder, die zwar auf großes Interesse stoßen, aber noch nicht in der Breite genutzt werden. Während einzelne Unternehmen oder Branchen zur Anwendung von SE gezwungen sind, z. B. aufgrund von Sicherheitsrichtlinien, besteht in den betrachteten Branchen eher ein nutzenorientiertes Interesse an SE. Die mit SE und MBSE verbundenen Aufwände und Nutzenpotentiale sind allerdings teilweise intransparent.

Der **Mehrwert** von SE wird häufig qualitativ und/oder auf einer hohen Abstraktionsebene beschrieben. Eine Studie von GAUSEMEIER et al. identifiziert fünf zentrale erwartete Nutzenpotentiale (s. Bild 2-18). Ähnlich abstrakte Formulierungen finden sich auch an anderer Stelle, typische Ergänzungen sind die Mehrwerte „Management der Komplexität“ und „Verbesserung früher Entscheidungen“ [RR09], [HWF+12], [Alt12], [Inc15]. Etwas detaillierter werden VOGELSAANG et al. mit der Identifikation von neun externen Faktoren, die Unternehmen zur Einführung von MBSE treiben („Push“) und zehn Faktoren, die Unternehmen intern motivieren MBSE anzuwenden („Pull“) [VAP+17]. Beide Aspekte hängen mitunter jedoch eng zusammen, z. B. „Vereinfachte Handhabung von Komplexität (Pull)“ und „Wachsende Komplexität (Push)“. Eine Übersicht über Mehrwerte des SE auf einem konkreteren Abstraktionsniveau (z. B. Reduktion des Vorbereitungsaufwandes zur FMEA-Durchführung) fehlt bislang. Veröffentlichte quantitative Analysen zum Mehrwert des SE für die betrachteten Branchen gibt es bislang nicht.

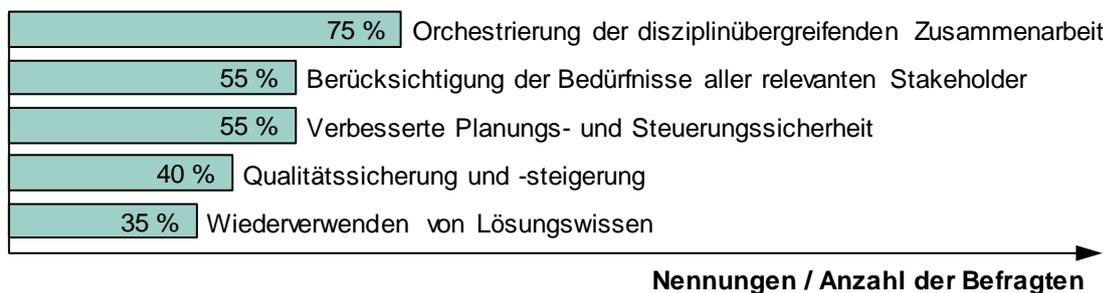


Bild 2-18: Nutzen von Systems Engineering nach [GDS+13]

Vorhandene quantitative Analysen zum Mehrwert beziehen sich im Wesentlichen auf Erkenntnisse aus Rüstungsprojekten aus den USA. Hier konnte HONOUR zeigen, dass es einen Zusammenhang zwischen SE-bezogenen Aufwänden und der Kosten- bzw. Termintreue der betrachteten Projekte gibt. Der optimale SE-Aufwand lag demnach bei etwa

14 % der gesamten Projektkosten [Hon13]. ELM und GOLDENSON wiesen nach, dass Projekte mit besserer SE-Anwendung höhere Chancen zur Zielerreichung (Kosten, Qualität, Funktionalität) haben [EG13]. Beide Studien werden jedoch in den betrachteten Branchen aufgrund der Branchenunterschiede kaum akzeptiert. Eine Ebene konkreter konnte Rolls-Royce für die Triebwerksentwicklung mit mehreren Testprojekten eine Reduktion der fehlerbedingten Designänderungen von 30-70 % auf ca. 2 % nachweisen [DYY+13]. Andere quantitative Studien sind dem Autor nicht bekannt.

2.3.4 Barrieren für die Einführung von SE und MBSE

Im Folgenden werden die Barrieren für die Einführung von SE und MBSE beschrieben. Zu diesem Zweck werden die bereits beschriebenen Aspekte aufgegriffen und hinsichtlich der Barrieren untersucht, die sich daraus für die Einführung ergeben. Betrachtet werden Barrieren für Großunternehmen, fachliche Barrieren aus dem SE bzw. MBSE und Barrieren im Kontext von Veränderung und Change Management.

Barrieren für Großunternehmen

Die in Kapitel 2.2.1 beschriebenen Charakteristika großer Unternehmen führen zu Vor- und Nachteilen für die Einführung von SE bzw. MBSE in solchen Unternehmen. Die hohe Verfügbarkeit von finanziellen Mitteln ist für die Einführung ebenso von Vorteil wie der bessere Zugang zu geeigneten Mitarbeitern. Dem gegenüber ergeben sich aus den Charakteristika jedoch auch die folgenden Nachteile für große Unternehmen:

- Starre Strukturen erschweren die Anpassung der Aufbauorganisation für SE, sowohl für Änderungen innerhalb bestehender Strukturen als auch zur Initialisierung neuer Organisationseinheiten.
- Langsame Entscheidungsprozesse verzögern die Freigabe von Prozessen, Methoden und notwendigen Änderungen an Aufbauorganisation und IT-Lösungen.
- Bestehende Prozesse können nicht einfach durch neue Prozesse ersetzt werden. Die Planung der Einführung wird daher durch zusätzliche Rahmenbedingungen bzw. Grenzen komplizierter.
- Das weit verbreitete Silodenken steht im Widerspruch zum ganzheitlichen Ansatz des SE und erfordert einen grundlegenden Kulturwandel im Unternehmen. Kulturveränderungen können jedoch Jahre in Anspruch nehmen.
- Eine ausgeprägte Spezialisierung ist zwar bei der Entwicklung komplexer Produkte von Vorteil, der verhältnismäßig geringe Anteil an Generalisten erschwert jedoch die interne Besetzung von SE-Rollen. Gleichzeitig können einige Rollen schlecht von Extern besetzt werden, so sollten z. B. Systemarchitekten ein gutes Verständnis von den relevanten Produkten haben.

- Eine weniger stark ausgeprägte Kooperationskultur erschwert die Einführung von SE ähnlich wie Silodenken und Spezialisierung, geht jedoch über die Unternehmensgrenzen hinaus. Die gleichzeitige Einführung einer ausgeprägten Kooperationskultur (z. B. mit Entwicklungspartnern) und neuer Ansätze wie SE erhöht die Komplexität der Einführung erheblich.
- Viele Mitarbeiter und viele Entwicklungspartner führen zu einer sehr großen Anzahl von Menschen, die von möglichen Veränderungen betroffen sind. Die Motivation dieser sowie die Koordination der Arbeit mit so vielen Stakeholdern erschwert die Einführung.

Fachliche Barrieren des SE und MBSE

Neben den Barrieren aufgrund der Unternehmensgröße ergeben sich auch aus dem SE bzw. MBSE selbst Barrieren für die Einführung. GAUSEMEIER et al. identifizierten sieben Hindernisse (s. Bild 2-19). Diese betreffen die Einführung von Systems Engineering (z. B. ein unklares Aufwand-Nutzen-Verhältnis), seine Anwendung (z. B. fehlende Werkzeugunterstützung) oder beides (z. B. fehlende Expertise).

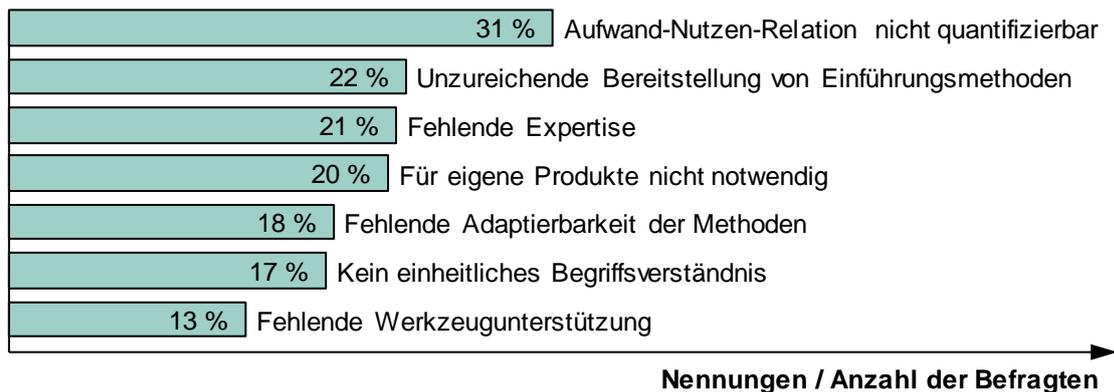


Bild 2-19: Hindernisse für Systems Engineering nach [GDS+13]

VOGELANG et al. listen 20 Faktoren auf, die Unternehmen vom Einsatz von MBSE abhalten. Diese Faktoren werden in die Bereiche „Angst“ (Anxiety, 8 Faktoren) und „Trägheit“ (Inertia, 12 Faktoren) unterteilt. Die wichtigsten Faktoren sind dabei Unsicherheiten hinsichtlich des Return on Invest (RoI) sowie fehlende Kompetenz der Mitarbeiter [VAP+17]. Zwei Faktoren, die auch für SE im Allgemeinen gelten [GDS+13]. Das Hindernis „Unzureichende Bereitstellung von Einführungsmethoden“ wird nicht explizit genannt, es gibt jedoch verschiedene Treiber, die durch geeignete Einführungsmethoden zumindest besser gehandhabt werden könnten (z. B. Notwendigkeit zur Änderung von Denkweisen, nicht passender Entwicklungsprozess, kein Support), siehe Bild 2-20.

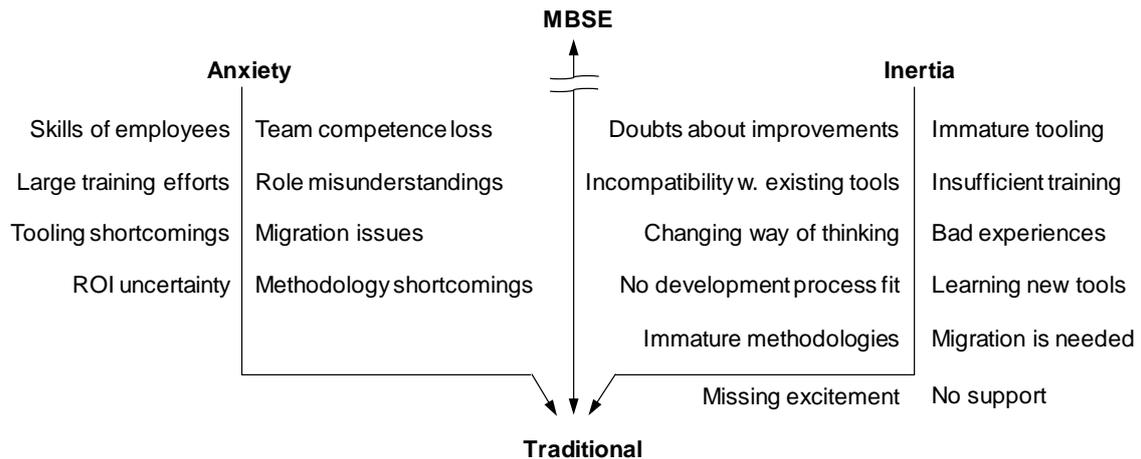


Bild 2-20: Faktoren mit Einfluss auf den Einsatz von MBSE nach [VAP+17]

Eine aktuellere Onlineumfrage von CHAMI und BRUEL mit Antworten von 42 Teilnehmern bestätigt und erweitert die Erkenntnisse der bereits genannten Untersuchungen. Die Teilnehmer wurden unter anderem gebeten, ihre Zustimmung zu gegebenen Herausforderungen zur Adaption von MBSE anzugeben. Bild 2-21 zeigt die prozentuale Zustimmung („Strongly Agree“ und „Agree“) zu den abgefragten Herausforderungen. So wird beispielsweise die Reife bzw. Adaptierbarkeit der Methoden in allen drei Untersuchungen genannt. Hervorzuheben ist, dass die beiden größten Herausforderungen nicht fachliche Aspekte des MBSE (z. B. Sprachen, Methoden oder Tools) betreffen, sondern unklare Zielsetzungen und Herausforderungen, Veränderungen operativ umzusetzen.

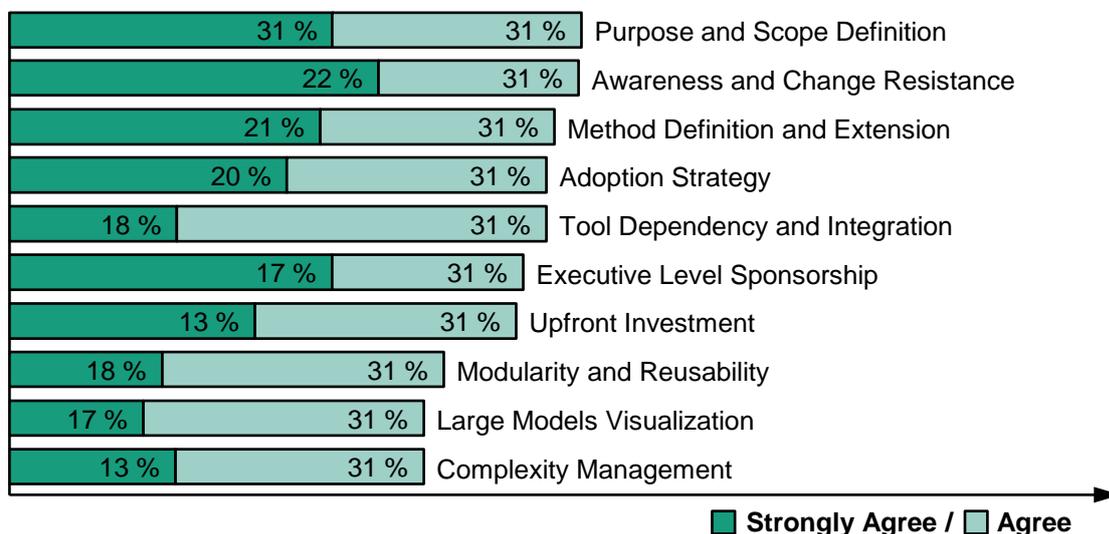


Bild 2-21: Zustimmungswerte zu Herausforderungen der MBSE-Adaption, nach [CB18]

Es wird deutlich, dass aus SE bzw. MBSE drei Arten von Herausforderungen resultieren. Erstens stellen Methoden, Sprachen und Werkzeuge mitunter hohe Ansprüche an **Fähigkeiten** der Mitarbeiter im Unternehmen. Eine intuitive Handhabbarkeit und eine einfache Lehr- und Lernbarkeit, wie im 3P-Konzept nach ALBERS für die Einführung von Ansätzen

gefordert, liegt nur teilweise vor [ALR12]. Auch für die Adaption vorhandener Ansätze ist eine hohe Kompetenz erforderlich, wenngleich eine hohe Leistungsfähigkeit von verfügbaren Ansätzen prinzipiell gegeben ist. Zweitens ist das **Engagement** für die Einführung nicht automatisch zu erwarten, da die wahrgenommene Leistungsfähigkeit bzw. das Aufwand-Nutzen-Verhältnis nicht offenkundig sind. Auf Managementebene fehlt hier ein verbessertes Verständnis für den Zielbeitrag von SE zu den Zielen der Entwicklung. Aus operativer Sicht fehlt eine Übersicht über konkrete Mehrwerte im Unternehmen bzw. am eigenen Arbeitsplatz. Drittens fehlen aus Sicht der Industrie spezifische **Einführungsmethoden**, die die Besonderheiten von SE und MBSE berücksichtigen und z. B. bei der Feststellung der Ziele zur Einführung unterstützen. Der Bedarf für solche Methoden wird bei der Betrachtung der vielfältigen, voneinander abhängigen Einflüsse auf die Organisation deutlich, die zur Einführung betrachtet werden müssen:

SE-kompatible Prozesse [Inc15] und geeignete Werkzeuge sind notwendig, um SE erfolgreich anzuwenden, da falsche Werkzeuge zur Ablehnung führen [Clo13]. Die Mitarbeiter müssen SE verstehen und die Anwendung beherrschen [Gfs19-ol], um ihre Aufgaben zu erfüllen [She96]. Da Prozesse zwar notwendig sind, aber nicht ausreichen, um den Mitarbeitern alle notwendigen Informationen zur Verfügung zu stellen, sind Methoden erforderlich. Diese bieten eine detailliertere Beschreibung der konkreten Arbeitsweisen, insbesondere für die Anwendung des SE [GDE+19], [Hof14]. Darüber hinaus sind Regeln, Vorlagen, gemeinsame Denkweisen und Werte notwendig, um das gleiche Verständnis für SE-spezifische Artefakte innerhalb einer Organisation zu schaffen [She96]. Ein weiterer Aspekt der Einführung ist die Veränderung der Organisationsstruktur [Kai14]. Während viele SE-Dokumente die Nutzung der SE innerhalb eines Projekts beschreiben [DBB97], [Inc15], werden die Aspekte der Schaffung eines gemeinsamen Verständnisses und der Integration des SE in die Organisationsstruktur eines Unternehmens oft vernachlässigt. Ebenfalls sollte berücksichtigt werden, dass auf der einen Seite eine unternehmensweite Wiederverwendbarkeit und ein gemeinsames Verständnis erforderlich sind und auf der anderen Seite verschiedene Projekte unterschiedliche Anforderungen an SE haben können [ABQ+11]. Schließlich sind weiche Faktoren wie Kooperationskultur und Denkweisen zwar schwer fassbar, aber für die Anwendung von Systems Engineering und einen Wandel im Allgemeinen von großer Bedeutung [HWF+12].

Fazit Kapitel 2.3: Systems Engineering ist ein erfolgversprechender Ansatz zur interdisziplinären Realisierung komplexer technischer Systeme. Kern des SE ist eine systemische Denkweise. Model-Based Systems Engineering erweitert diesen Ansatz durch die formalisierte Anwendung von Modellen zur Unterstützung der klassischen SE-Tätigkeiten. Für Unternehmen ergeben sich vielfältige Mehrwerte durch den Einsatz von SE und MBSE. So sollen wesentliche Herausforderungen bei der Orchestrierung und Durchführung der interdisziplinären Entwicklung gelöst werden. Große Unternehmen müssen bei der SE-Einführung spezifische Herausforderungen meistern. Beispielweise sind die starren Strukturen und trägen Entscheidungsprozesse ein Nachteil in Veränderungsprozessen. SE und MBSE sind zwar vielversprechende Ansätze, jedoch auch umfangreich und komplex.

Dies führt zu fehlendem Verständnis für die Mehrwerte. Die Einführung von SE oder MBSE wird zudem durch das Fehlen von geeigneten Einführungsansätzen erschwert. Das folgende Kapitel betrachtet daher das Change Management.

2.4 Change Management

Change Management (CM) soll sicherstellen, dass gewünschte Veränderungen in einer Organisation erfolgreich umgesetzt und von den Mitarbeitern getragen werden [DL14]. Damit ist CM ein wesentlicher Ansatz zur Adressierung der in Kapitel 2.3.4 genannten Herausforderungen. Unter Veränderung im Unternehmen kann ein im Zeitverlauf stattfindender Wandel von einem stabilen Zustand hin zu einem anderen stabilen Zustand verstanden werden [Pes10]. Eine einheitliche Definition für Change Management gibt es nicht (vgl. [QH01], [RS97]). Die Motivation für eine entsprechende Veränderung liegt jedoch üblicherweise in einer gewünschten fundamentalen Veränderung der Geschäftslogik oder der Notwendigkeit für Veränderung durch wachsende Herausforderungen am Markt [Kot95]. An diesen Grundlagen hat sich bis heute wenig geändert [MS16], ebenso ist die Durchführung eines Change-Prozesses weiterhin anspruchsvoll für die durchführende Organisation [BF17].

Im Folgenden wird zunächst der Wandel selbst näher erläutert (Kapitel 2.4.1). Im Anschluss daran wird ein Bezugsrahmen für Change Management (Kapitel 2.4.2) beschrieben. Abschließend werden generische und auf die Produktentwicklung bezogene Ansätze des Change Managements kurz erläutert (Kapitel 2.4.3).

2.4.1 Arten von Veränderung

Bedarf für CM besteht, da Menschen tendenziell Stabilität bevorzugen und Änderungen an bestehenden Verhältnisse zunächst infrage stellt bzw. mit emotionalen Abwehrreaktionen reagiert [Sch84], [CFS18]. Es existieren verschiedene Modelle zur Klassifizierung der Arten von Veränderungen.

TROST unterscheidet, was sich im Unternehmen verändert: Strukturen, Arbeitsweisen, Strategie, Kultur oder das Unternehmen selbst, etwa durch Akquisition durch ein anderes Unternehmen [Tro13-ol]. Bild 2-22 visualisiert diese Arten von Veränderung. Eine weiter verbreitete Klassifikation von Veränderung unterscheidet nach der Geschwindigkeit und der Stärke der Auswirkungen. Beim sogenannten **Wandel erster Ordnung** bleiben die Veränderungen innerhalb des bestehenden Bezugsrahmens [Sta14]. Die grundlegende Logik, nach der das Unternehmen agiert, wird nicht verändert. Verschiedene Autoren beschreiben dies als reproduktiv [Krü94], evolutionär [Gre72] oder inkrementell [DS93]. Neuere Quellen folgen dieser Logik [Sta14]. Solche Veränderungen können zwar Auswirkungen auf eine große Anzahl von Mitarbeitern haben, dennoch handelt es sich im Kontext des gesamten Unternehmens um weitgehend isolierte Veränderungsmaßnahmen an einzelnen Werkzeugen, Prozessen oder Strukturen.

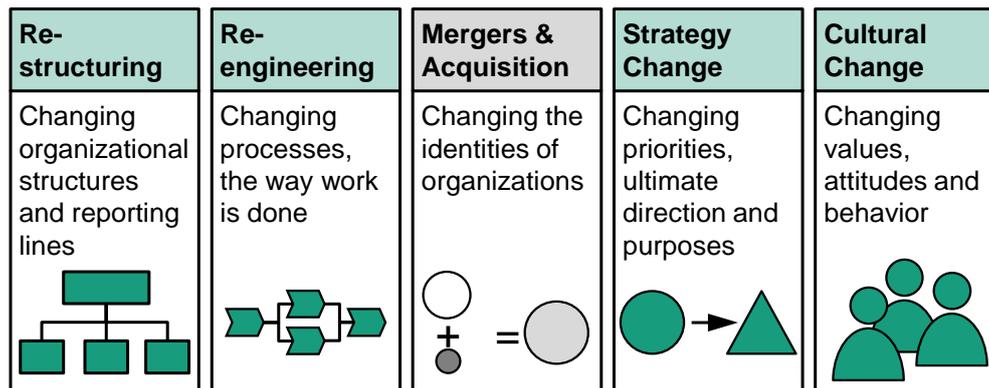


Bild 2-22: Arten von Veränderungen in Organisationen [Tro13-ol]

Im Gegensatz hierzu wird der **Wandel zweiter Ordnung** als transformativ [LM89], [Krü94], revolutionär [Gre72] oder radikal [ASH04] beschrieben [Sta14]. Demnach werden hier keine einzelnen Prozesse, sondern das grundlegende Fundament des Unternehmens in kurzer Zeit verändert, z. B. durch die Ausrichtung auf neue Geschäftsfelder oder eine komplette Restrukturierung der Organisation [Sta14]. STAHL weist darauf hin, dass für die beschriebene Unterscheidung die Unternehmensperspektive eingenommen wird. Die wahrgenommene Veränderung für einen Mitarbeiter auf der operativen Ebene kann genau umgekehrt ausfallen. So haben Änderungen von Prozessen, Methoden oder Tools große Auswirkungen auf tägliche Arbeitsabläufe. Im Gegensatz dazu können fundamentale Änderungen der Konzernstruktur unter Umständen ohne Auswirkungen auf konkrete operative Arbeitsabläufe bleiben [Sta14].

Ob ein Unternehmen schrittweise auf ein neues Ziel ausgerichtet werden soll (Wandel erster Ordnung) oder eine radikale Änderung (Wandel zweiter Ordnung) erfolversprechender ist, hängt von der konkreten Unternehmenssituation ab. PETTIGREW beschreibt, dass der Widerstand gegen den Wandel erster Ordnung geringer ist als gegen den Wandel zweiter Ordnung [Pet88]. Dennoch gibt es Beispiele, bei denen eine radikale Veränderung deutlich erfolgreicher war [MF80]. Möglicherweise hängt dies mit den von STAHL beschriebenen Auswirkungen der Veränderung auf die operative Arbeitsebene ab.

2.4.2 Umgang mit Veränderung

Die Bedeutung von CM nimmt jeweils mit steigender Anzahl der Betroffenen sowie mit steigendem Umfang der Veränderung zu. Veränderungen können immer zu offenen oder versteckten **Abwehrmaßnahmen** der Betroffenen führen, sowohl bei zunächst positiv wahrgenommenen Veränderungen als auch bei negativ wahrgenommenen [Con06].

KÜBLER-ROSS beschreibt 1969 ein Muster in der **Reaktion von Menschen auf erhebliche negative Veränderungen**, konkret auf den bevorstehenden Tod [Küb69]. Dasselbe Modell wird in der Literatur zum Change Management ebenso für organisationale Veränderungen verwendet [Con06], auch wenn das Modell in seinem ursprünglichen, klinischen Zusammenhang oftmals abgelehnt wird [SA74]. KÜBLER-ROSS beschreibt die 5

Phasen Denial, Anger, Bargaining, Depression und Acceptance [Küb69]. Neuere Quellen erweitern das Modell um einzelne Phasen [CFS18], [Con06]. CONNER erweitert dieses Modell um drei Phasen zu den im Folgenden beschriebenen und im Change Management weitläufig verbreiteten acht Phasen [Con06] (siehe Bild 2-23):

Bevor die Veränderung bekannt ist, geht CONNOR von einer stabilen Ausgangssituation (Stabilität), dem **Status Quo**, aus. Die erste Reaktion auf negativ wahrgenommene Veränderung ist ein Schockzustand (**Immobilisierung**). In diesem ist eine Person unfähig, auf die neue Situation zu reagieren. Nach dem initialen Schock wird die Veränderung zunächst verleugnet, z. B. durch die Annahme von Fehlinformation (**Verleugnung**). In diesem Zustand setzt sich die betroffene Person nicht aktiv mit der Veränderung auseinander. Im Anschluss reagiert der Betroffene frustriert und verletzt bzw. **aggressiv** und irrational. In der fünften Phase beginnt die Person die Veränderung zu akzeptieren und versucht über **Verhandlungen** die negativen Auswirkungen für sich zu minimieren. Wird deutlich, dass das eigene Handeln keinen Einfluss auf die eigene Situation hat, verfällt die betroffene Person in eine **Depression**. Im Fall von organisationaler Veränderung fällt die Reaktion üblicherweise weniger heftig aus: Statt Depression fallen eher Resignation, fehlende Motivation und Engagement auf. In der nächsten Phase wird zunächst das Gefühl von Kontrolle über eine Situation wiederhergestellt – die neuen Grenzen werden akzeptiert, innerhalb dieser Grenzen werden aber die bestehenden Möglichkeiten **ausgetestet**. Abschließend wird neue Situation **akzeptiert**, ein produktiver Umgang mit der Situation ist nun möglich.

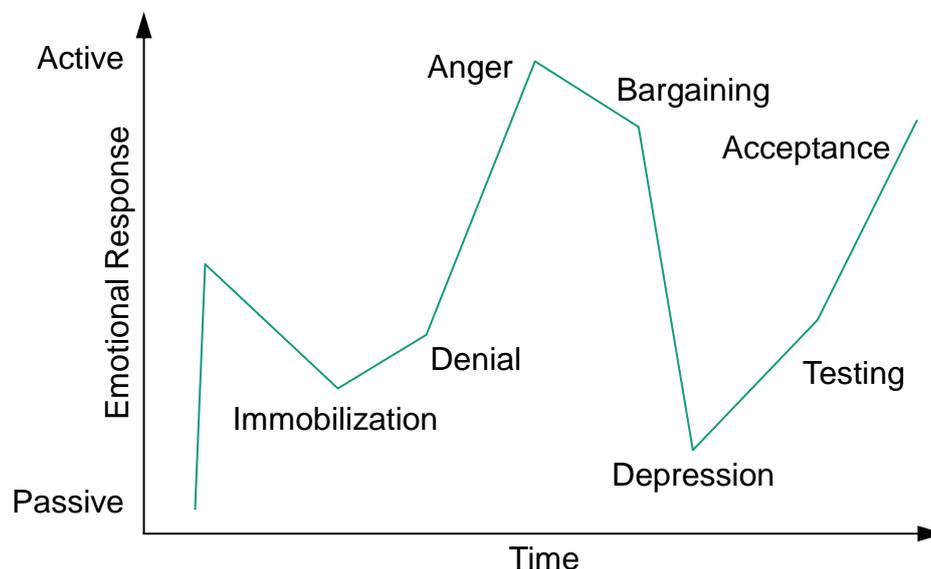


Bild 2-23: Emotionale Reaktion auf negativ wahrgenommene Veränderung [Con06]

Es wird deutlich, dass im Falle von negativ wahrgenommenen Veränderungen mit erheblichen Widerständen gegen die Veränderung zu rechnen ist. Es stellt sich jedoch die Frage, warum Veränderungen im Unternehmen überhaupt als negativ wahrgenommen werden. Eine mögliche Erklärung liefert die Balance-Theorie nach Heider, eine sozialpsychologische Konsistenztheorie [Str99].

Konsistenztheorien versuchen das Verhalten von Personen mittels des Konzepts von Konsistenz bzw. Inkonsistenz zu erklären: Grundannahme ist, dass Personen Zustände der Inkonsistenz meiden und versuchen konsistente Zustände herzustellen [Sch84]. Die Balance-Theorie nach Heider beschreibt, wann eine Situation im Gleichgewicht ist und wann nicht [Hei58]. Dazu nutzt sie die Konsistenz von vollständigen Triaden: Einer Person und zwei Entitäten (im Lebensraum der Person gegebene Dinge), die mit drei Relationen miteinander in Beziehung stehen [Sch84]. Jede Relation kann dabei positiv (als zusammengehörig wahrgenommen) oder negativ (als inkonsistent oder sich ausschließend wahrgenommen) sein. Nach HARARY liegt eine gleichgewichtige Situation in einer triadischen Struktur genau dann vor, wenn die Multiplikation der zur Struktur gehörigen Relationen ein positives Resultat hat [Har64]. Bild 2-24 zeigt alle möglichen Zustände einer vollständigen Triade. Zur Übertragung des Konzepts auf eine Veränderung im Unternehmen sind folgende Annahmen zu treffen: p beschreibt eine Person, die von einer Veränderung betroffen ist. x beschreibt die heutige Situation der Person, y die Situation nach Ablauf der Veränderung. Da x und y sich ausschließen, muss zwischen beiden eine negative Relation existieren (siehe Triaden in Reihe 2 aus Bild 2-24). Da laut den Balance-Theorien balancierte Zustände angestrebt werden [Hei58], [Fes57], sind nur zwei Triaden realistisch: Entweder ist die Person (p) ihrer aktuellen Situation (x) gegenüber negativ gestimmt und begrüßt demnach eine Veränderung. Ist sie der aktuellen Situation gegenüber hingegen positiv gestimmt, müsste sie laut Balance-Theorie die veränderte Situation (y) ablehnen. Von diesem Fall ist für den Großteil Mitarbeiter auszugehen, da diese den Status Quo zuvor lange erlebt haben und über diesen Zeitraum nicht gewillt gewesen wären, unbalancierte Situationen zu ertragen. Um der neuen Situation (y) gegenüber positiv gestimmt zu sein, muss der Person also zunächst deutlich gemacht werden, warum die aktuelle Situation negativ zu bewerten ist. Diesem Ansatz folgen alle verbreiteten Change-Management-Ansätze (s. Kapitel 2.4.3).

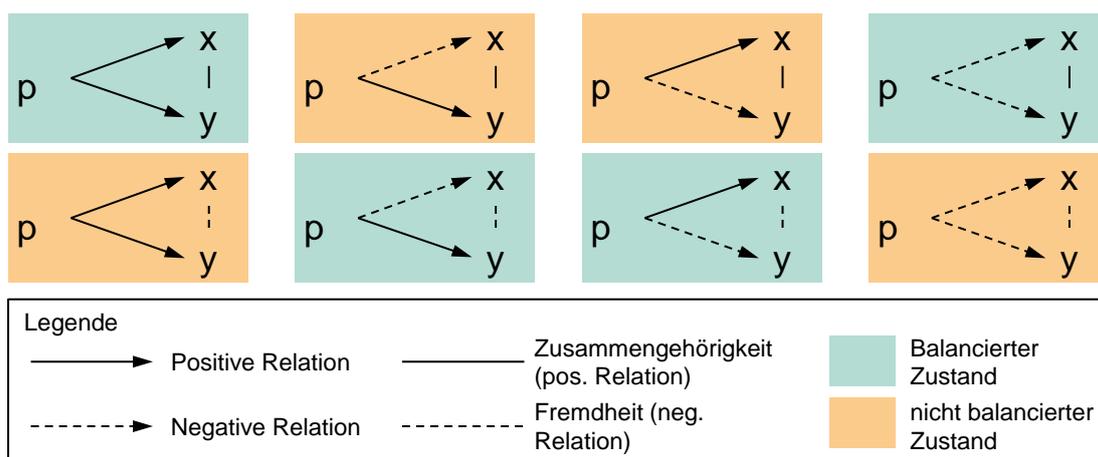


Bild 2-24: Zustände einer vollständigen Triade [Sch84]

Die über 50 Jahre alten Grundlagen werden heute bis heute in konkreten Fragestellungen angewendet, z. B. im Bereich der Ernährung [PRL+15], [BLH+11] oder der Abwertung von Verbrechenopfern [AWA08].

Die Bereitschaft zur Veränderung allein ist jedoch nicht ausreichend, um diese erfolgreich umzusetzen, denn auch eine gewollte Veränderung kann erhebliche Schwierigkeiten mit sich bringen. CONNOR beschreibt hierzu fünf Phasen emotionaler Reaktion auf positiv wahrgenommene Veränderung [Con06] (siehe Bild 2-25):

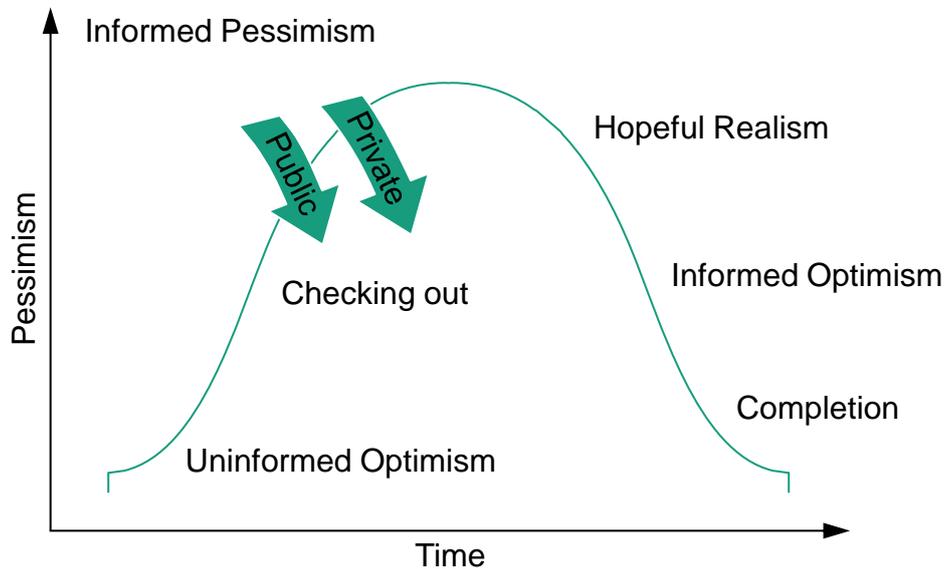


Bild 2-25: Emotionale Reaktion auf positiv wahrgenommene Veränderung [Con06]

Uninformed Optimism (Uninformierter Optimismus): In dieser Phase wird die Veränderung positiv aufgenommen, ohne dass ein Verständnis für die damit verbundenen Kosten (Aufwände, etc.) besteht.

Informed Pessimism (Informierter Pessimismus): Sobald klar wird, mit welchen Herausforderungen die Veränderung einhergeht, steigt der Pessimismus; in dieser Phase werden im Wesentlichen die Aufwände und negativen Auswirkungen der Veränderung wahrgenommen. In dieser Phase besteht ein hohes Risiko für den „Ausstieg“ aus der Veränderung. Entweder öffentlich, z. B. durch offen geäußerte Zweifel oder Widerstand, oder privat, z. B. durch Einstellen des Engagements. Beides ist für ein Change Projekt gefährlich, wenngleich offen geäußerte Zweifel deutlich besser gehandhabt werden können.

Hopeful Realism (Hoffnungsvoller Realismus): In dieser Phase wird „das Licht am Ende des Tunnels“ sichtbar. Zwar werden die Herausforderungen aus Phase II noch gesehen, jedoch erscheinen sie langsam lösbarer.

Informed Optimism (Informierter Optimismus): Durch das Lösen der in Phase III erkannten Herausforderungen rückt die erfolgreiche Umsetzung der Veränderung näher, der Optimismus für eine erfolgreiche Veränderung steigt.

Completion (Fertigstellung): Die Veränderung wurde erfolgreich umgesetzt.

2.4.3 Change Management für die Produktentwicklung

Es wird deutlich, dass Veränderungen aus verhaltenspsychologischer Sicht nahezu immer Potenzial für Konflikte haben. Dies gilt auch und besonders im Rahmen der Produktentwicklung. So haben Entwickler in der Regel größere prozessuale Freiheiten und Gestaltungsoptionen als andere Mitarbeiter (z. B. Buchhalter, Einkäufer, ...). Neue Prozesse, Methoden und Werkzeuge können schnell als Einschränkung dieser Freiheit wahrgenommen werden. Darüber hinaus sind Entwicklungsprozesse hochkomplex und betreffen vom Kunden über Entwickler und Zulieferer bis zur Fertigung ein sehr großes und heterogenes Personenfeld. Die Produktentwicklung kann entsprechend als komplexes sozio-technisches System betrachtet werden. Es stellt sich die Frage, wie trotz der beschriebenen Herausforderungen auf technischer und menschlicher Ebene ein erfolgreiches Change-Projekt durchgeführt werden kann. Hierzu wurden unterschiedliche Ansätze zum Change Management entwickelt.

Im Bereich der Produktentwicklung existieren spezifische Ansätze für Veränderungsprozesse. SCHUH unterscheidet zwischen zwei Strömungen: amerikanisch geprägte Top-down Ansätze und japanisch geprägte Bottom-up-Ansätze. Ein Beispiel für Top-Down Ansätze liefert DAVENPORT [Dav92] mit dem in Bild 2-26 dargestellten Vorgehen. Der Fokus liegt hierbei auf Planung, Design und Prüfung neuer Prozesse, allerdings kann der Ansatz nicht als ein Change Management Ansatz im Sinne der eingangs genannten Definition gelten, da nicht klar wird, wie der Ansatz die eigentliche Veränderung und das Herbeiführen eines stabilen Zustands unterstützt.

Dem gegenüber stehen Ansätze wie Lean, Kaizen oder KVP (Kontinuierlicher Verbesserungsprozess). Sie sind eher als grundsätzliche Philosophien zu betrachten und können als Bottom-Up Ansätze charakterisiert werden. Damit entsprechen sie jedoch ebenfalls nicht der eingangs vorgestellten Definition des CM, da die Veränderung hier niemals in einen neuen stabilen Zustand überführt wird. SCHUH plädiert dafür, dass im europäischen Raum eine andere Veränderungskultur herrscht und daher erfolgreiches CM nur gelingen kann, wenn ein Ansatz Management und Mitarbeiter gleichermaßen betrachtet („Down-Up“-Ansatz) [Sch06]. SCHUH schlägt hierzu den Ansatz „MOTION“ vor, der das Down-Up-Paradigma umsetzt. MOTION besteht aus einem Rahmenwerk, das von zahlreichen Methoden unterstützt wird. Der Fokus der Veränderung liegt klar auf Prozessen, Aspekte wie Strukturen und Denkweisen werden jedoch zumindest genannt.

Außerhalb der Produktentstehung wurden generische CM-Ansätze entwickelt, die den Anspruch haben, bei jeder Art von Veränderung einsetzbar zu sein. Typischerweise basieren diese Vorgehensweisen auf einem Dreischritt: Zunächst muss die Veränderungsbereitschaft und -fähigkeit sichergestellt werden. Hierzu gehört beispielsweise die notwendige Überzeugungsarbeit bei Mitarbeitern und Management. Anschließend wird die eigentliche Veränderung geplant und durchgeführt, bevor im letzten Schritt der erreichte

Zustand stabilisiert und gesichert wird. Letzteres ist zwingend notwendig, da die Organisation sonst schnell in alte Verhaltensmuster zurückfallen kann und die Veränderung somit keinen nachhaltigen Mehrwert liefern kann [Kot12], [Sch16], [Krü09].

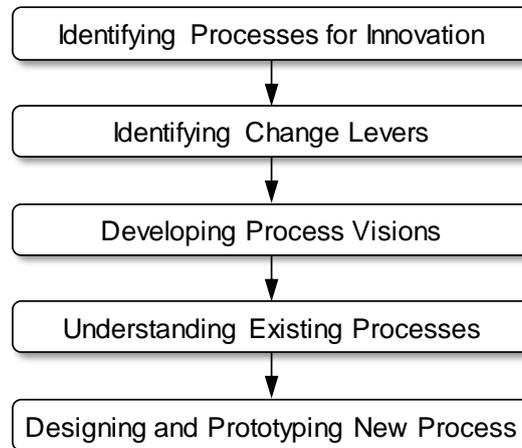


Bild 2-26: Vorgehen zur Prozessveränderung [Dav92]

Obwohl Unternehmen seit Jahrzehnten versuchen, Veränderungen erfolgreich umzusetzen, sind die wenigsten Change-Projekte ein Erfolg [Kot95]. Dies gilt heute umso mehr, da die Herausforderungen an den Märkten, die Anzahl und Geschwindigkeit nötiger Veränderungen, etwa aufgrund immer schnellerer technologischer Neuerungen, immer weiter zunehmen [Sch06], [Kot12]. Mögliche Gründe für das Scheitern von Veränderungsprojekten, gerade im Kontext des SE, werden in Kapitel 2.3.4 beschrieben.

2.4.4 Barrieren für Veränderungsprojekte

Unabhängig von SE gilt: Ein hoher Anteil an Change-Projekten hat nicht den gewünschten Erfolg. Die Gründe hierfür sind unterschiedlich und werden in Bild 2-27 dargestellt. Eine zentrale Ursache für erfolglose Veränderungsprojekte ist **fehlendes Change Management** [Lau19]: Aus dem monetär kaum zu bewertendem Mehrwert von CM und der oft fehlenden Betrachtung der Opportunitätskosten ergeben sich, verglichen mit den eindeutigen Kosten, scheinbar wirtschaftliche Gründe auf CM zu verzichten. Darüber hinaus verursacht Veränderung kognitive Dissonanz, welche Individuen zur Vermeidung von CM verleiten kann. Auf einer kollektiven Ebene ist zudem ein Infragestellen des Status quo oftmals unerwünscht. Auch die hohe Komplexität von Organisationen kann aufgrund von unabsehbaren Folgen auf die Organisation ein Grund für eine bewusste Entscheidung gegen Change Management sein. Doch auch wenn CM bewusst genutzt wird, ist ein **Scheitern der CM-Projekte** möglich. Die Ursachen hierfür liegen häufig bei personenbezogenen Themen der Mitarbeiter und Führungskräfte: Unzureichende Ausbildung und Einbindung von Mitarbeitern sowie schlechte Führung sind hier typisch und führen schnell zu Widerstand der Mitarbeiter [Bur11], [Lau19], [MA14]. Ebenso typisch sind Probleme mit dem Prozess des CM. Schlechte Planung und Überwachung, fehlende Stakeholderorientierung und unklare Ziele, sowie ineffiziente Kommunikation verhindern

einen Erfolg der Veränderung [MA14], [Lau19]. Von etwas geringerer Bedeutung, wenngleich nicht zu vernachlässigen, sind schließlich die unternehmensbezogenen Faktoren der Veränderungskultur und der verfügbaren Ressourcen [MA14].

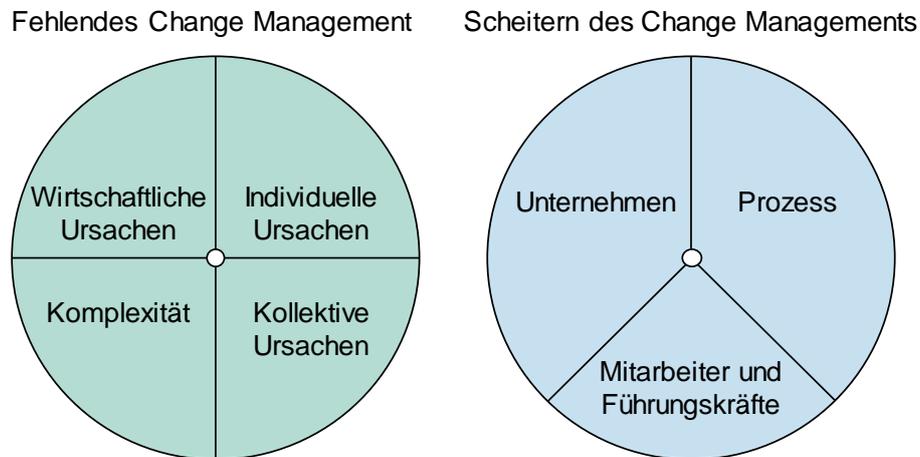


Bild 2-27: Gründe für das Scheitern von Veränderungsprojekten

Hinsichtlich des Change Managements für die SE-Einführung gilt: Mit Blick auf die Arten von Veränderung lässt sich festhalten, dass die Einführung von SE mit Veränderungen an der Organisation, den Prozessen, Methoden und Tools, sowie der Kultur gleich **mehrere Arten von Veränderungen** nach TROST betrifft. Zudem kann die Veränderung als **Wandel im Sinne der 1. und 2. Ordnung** charakterisiert werden. Sowohl die operative Arbeitsebene als auch das Management sind von Veränderungen betroffen. Für das Management sind hierbei besonders neue Aufbauorganisationen, Strategieänderungen und kulturelle Veränderungen von Bedeutung. Für die operative Arbeitsebene die Aufbauorganisation, kulturelle Veränderung und die Veränderung der Ablauforganisation durch neue Prozesse, Methoden und Werkzeuge. Dementsprechend besteht bei der SE-Einführung ein erhöhtes Risiko, an einer zu hohen Komplexität des Wandels (statt an fachlichen Problemen) zu scheitern. Um ein Scheitern einer SE-Einführung zu vermeiden, muss sichergestellt werden, dass ein angemessener Veränderungsprozess genutzt wird und dass alle relevanten Personen in geeigneter Weise einbezogen werden.

Fazit Kapitel 2.4: Veränderungen können unterschiedliche Aspekte eines Unternehmens betreffen, z. B. Struktur oder Kultur. Abhängig von Umfang und Geschwindigkeit der Veränderung wird zwischen einem Wandel erster und zweiter Ordnung unterschieden. Für alle Veränderungen gilt: Da Menschen Stabilität bevorzugen, können bei Veränderungen im Unternehmen starke Abwehrreaktionen auftreten, selbst wenn die Veränderung prinzipiell begrüßt wird. Es gibt unterschiedlichste Change Management Ansätze, die diesen Reaktionen entgegenwirken sollen, um eine Veränderung erfolgreich einzuführen. In der Praxis sind trotz dieser Ansätze viele Veränderungsprojekte Fehlschläge. CM bietet zwar eine prinzipielle Unterstützung für eine Einführung von SE, im Detail sind die verbreiteten Top-Down Ansätze wenig geeignet. Viele Veränderungsprojekte scheitern, weil das CM schlecht geplant, überwacht, durchgeführt und kommuniziert wird

oder weil gar keine CM Ansätze angewendet werden. Für die SE-Einführung ist die Anwendung von CM jedoch zwingend notwendig und muss integraler Bestandteil einer Einführungsmethode sein.

2.5 Problemabgrenzung

Aus der Problemanalyse wird deutlich, dass mit dem Wandel von mechanischen Systemen über mechatronische Systeme hin zu ITS und CPS die Komplexität von Produkt und Produktentwicklung erheblich steigt. Interdisziplinarität und die Fähigkeit, schon in frühen Phasen die verschiedenen Disziplinen zu orchestrieren, sind von zunehmender Bedeutung (vgl. Kapitel 2.1). Dies gilt in zunehmendem Maße auch für große Unternehmen der Branchen Automobiltechnik, elektrische Geräte und Maschinen- und Anlagenbau. Die Organisationsstruktur dieser Unternehmen ist häufig historisch gewachsen und disziplinenorientiert ausgerichtet. Auch klassische Entwicklungsmethoden sind eher disziplinenorientiert und können den bestehenden Bedarf an Unterstützung für die interdisziplinäre Zusammenarbeit nicht decken. Darüber hinaus folgen unterschiedliche Disziplinen auch verschiedenen Vorgehens- und Denkmodellen (vgl. Kapitel 2.2).

Systems Engineering ist ein vielversprechender Ansatz, um die genannten Herausforderungen zu lösen und wird von der Industrie als wichtig für die zukünftige Entwicklung angesehen. Model-Based Systems Engineering ist eine Weiterentwicklung des SE und nutzt Modelle zur Unterstützung der SE-Aktivitäten. Obwohl beide Ansätze als wichtig und richtig angesehen werden, ist die Durchdringung in den betrachteten Branchen noch gering. Ein wesentlicher Grund hierfür ist die Komplexität der SE-Einführung (vgl. Kapitel 2.3). Aufgrund der Vielzahl der betroffenen Stakeholder und den breiten Auswirkungen auf Arbeitsweisen, Werkzeuge, Unternehmensstrukturen (und ggf. weitere Aspekte) ist für die Einführung von SE und MBSE zwingend Change Management erforderlich. Der erforderliche Wandel kann dabei als besonders anspruchsvoll gelten, da es sich üblicherweise um einen Wandel erster *und* zweiter Ordnung handelt (vgl. Kapitel 2.4). Unternehmen müssen hierbei Herausforderungen aufgrund ihrer Größe, der fachlichen Komplexität und Reife des SE sowie aufgrund des notwendigen Change Managements bewältigen. Diese Barrieren, zusammen mit einem wahrgenommenen Mangel an SE-Einführungsmethoden, bremsen die SE-Einführung aktuell aus (vgl. Kapitel 2.3.4).

Aus der geschilderten Problematik ergibt sich ein **Bedarf** für ein *Rahmenwerk zur Einführung von Systems Engineering und Model-Based Systems Engineering*. Dieses Rahmenwerk soll bei der unternehmensindividuellen und bedarfsorientierten Einführung von SE und MBSE unterstützen und dabei die Planung des SE-Veränderungsprozesses unter Berücksichtigung der Auswirkungen auf die Organisation fokussieren. Das Rahmenwerk richtet sich demzufolge sowohl an den Initiator einer solchen Veränderung als auch an den bzw. die Verantwortlichen für die Planung und Durchführung des Veränderungsprozesses. Das Rahmenwerk soll sowohl fachliche Aspekte des SE als auch das notwendige Change Management umfassen und dabei die Einbindung von operativer Arbeitsebene

und Management berücksichtigen. Der Fokus des Rahmenwerks soll auf den frühen Phasen der Produktentwicklung liegen. Es gliedert sich in die in Bild 2-28 dargestellten Handlungsfelder.

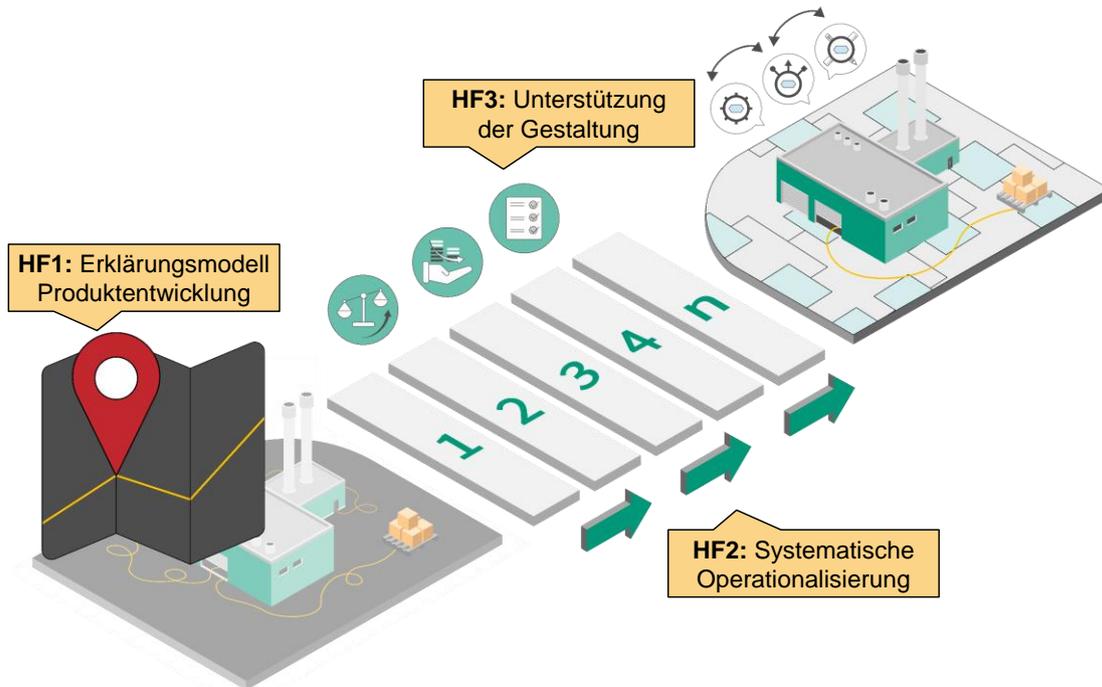


Bild 2-28: Übersicht der Handlungsfelder für das angestrebte Rahmenwerk

Handlungsfeld 1: Erklärungsmodell für die Produktentwicklung

Als Grundlage und zur Abbildung der Zusammenhänge in der Produktentwicklung bedarf es eines ganzheitlichen Erklärungsmodells für die Produktentwicklung, welches die für SE und MBSE relevanten Aspekte der Produktentwicklung beschreibt. Es soll als Grundlage für die Strukturierung von Veränderungsbereichen im Rahmen der Einführung von SE bzw. MBSE dienen. Darüber hinaus bedarf es der Klärung möglicher Ziele der Einführung von SE und MBSE als Ausgangspunkt aller weiteren Tätigkeiten.

Handlungsfeld 2: Systematische Operationalisierung

Wesentlich für die Einführung neuer Ansätze im Unternehmen ist die Planung und Gestaltung des Veränderungsprozesses, sowohl hinsichtlich fachlicher Aspekte als auch hinsichtlich des Change Managements. Unternehmen benötigen hierfür Ansätze zur Bewertung ihrer aktuellen Leistungsfähigkeit, zur Identifikation einer angemessenen Soll-Leistungsfähigkeit sowie zur ganzheitlichen Gestaltung des Veränderungsprozesses von Ist zu Soll. Die systematische Operationalisierung soll einen Rahmen und ein strukturiertes Vorgehen zur Bewältigung dieser Herausforderungen bieten und sicherstellen, dass CM nicht vernachlässigt wird, während alle nötigen fachlichen Aspekte bedacht werden. Dazu sollen ein geeignetes Vorgehen, Dokumentationsmöglichkeiten sowie geeignete Hilfsmittel zur Durchführung der relevanten Vorgehensphasen bereitgestellt werden.

Handlungsfeld 3: Unterstützung der Gestaltung

Bei der Ausgestaltung und Abarbeitung konkreter Maßnahmen im Rahmen der systematischen Operationalisierung kann auf vielfältige Vorarbeiten zurückgegriffen werden, z. B. SHEARDS Arbeiten zum Thema SE-Rollen [She96]. Gerade im Bereich der Organisationsgestaltung fehlen solche Vorarbeiten bislang. Das Rahmenwerk soll an dieser Stelle Unterstützung in Form von Gestaltungshinweisen und archetypischen Beispielerorganisationen liefern, die Anwendern als Orientierungshilfe für die Ausgestaltung notwendiger Maßnahmen zur SE-gerechten Anpassung der Organisationsstruktur dienen.

2.6 Anforderungen

Auf Basis der Problemanalyse und der in Kapitel 2.5 dargestellten Handlungsfelder resultieren folgende Anforderungen an ein *Rahmenwerk zur Einführung von Systems Engineering und Model-Based Systems Engineering*. Übergeordnetes Ziel ist es, einen ganzheitlichen Rahmen zur Einführung von SE und MBSE bereitzustellen.

Handlungsfeld 1: Erklärungsmodell für die Produktentwicklung

A1) Verständliche Beschreibung des Betrachtungsgegenstands: Die Produktentwicklung ist ein komplexes soziotechnisches System, welches nur durch das Zusammenspiel unterschiedlichster Faktoren Erfolg verspricht. Während die konkrete Ausgestaltung dieses Systems unternehmensspezifisch und somit individuell ist, sind die Bausteine selbst allgemeiner Natur. Zur Planung der Einführung bedarf es daher eines anschaulichen Erklärungsmodells, welches die SE-relevanten Aspekte der Produktentwicklung repräsentiert. Das Modell soll dabei einfach verständlich und schnell zu erfassen sein, um auch unerfahrenen Anwendern schnell eine Orientierung bieten zu können.

A2) Zielsetzungen für Systems Engineering und MBSE beschreiben: Für die bedarfsgerechte Einführung von SE und MBSE müssen zunächst die Ziele bekannt sein, die ein Unternehmen zur Einführung motivieren. Um diese bewusst zu wählen, bedarf es einer strukturierten Übersicht über mögliche Zielstellungen. Es gilt, einen geeigneten Abstraktionsgrad für Ziele zu finden, damit diese weder zu generisch sind noch ihren Zielcharakter verlieren. Dazu gilt es, zu hinterfragen was ein Ziel ist und was nur ein Mittel zur Erreichung eines Ziels. Das Rahmenwerk soll einen Strukturrahmen sowie eine Übersicht möglicher Ziele bereitstellen.

Handlungsfeld 2: Systematische Operationalisierung

A3) Ganzheitliche Betrachtung von SE und MBSE: Um Systems Engineering optimal einzusetzen, wird oftmals auf den Ansatz MBSE gesetzt. Doch nicht immer ist die damit verbundene Formalisierung notwendig. Die Einführung von MBSE ist jedoch abhängig von SE. Das Rahmenwerk muss beide Ansätze betrachten und dabei die Freiheit bieten, bedarfsgerechte Kombinationen von SE und MBSE zu ermöglichen.

A4) Transparenz und Nachvollziehbarkeit sicherstellen: Die Anwendung von Vorgehen und Hilfsmitteln muss zu nachvollziehbaren, vergleichbaren und reproduzierbaren Ergebnissen führen. Beschreibungen und Vorschriften sind verständlich zu erläutern.

A5) Einführungsmöglichkeiten berücksichtigen: Abhängig vom angestrebten Umfang der Einführung, den betroffenen Stakeholdern und weiteren Bedingungen können unterschiedliche Ansätze zur Einführung vielversprechend sein. Das Rahmenwerk muss dem Rechnung tragen und Anwendern unterschiedliche Einführungsansätze ermöglichen. Zudem muss ein Hilfsmittel bereitgestellt werden, welches Anwender dabei unterstützt, die für ihre spezifische Situation optimale Strategie auszuwählen.

A6) Change Management integrieren: Die Einführung von SE und MBSE erfordert zwingend den Einsatz von CM. Gleichzeitig wird die Einführung üblicherweise aus technischen Bereichen getrieben, die weniger Erfahrung mit großen Veränderungsprojekten haben. CM muss daher einen integrativen Bestandteil des Rahmenwerks darstellen. Zudem müssen geeignete Hilfsmittel zur Unterstützung des CM bereitgestellt werden.

A7) Strukturiertes Vorgehen bereitstellen: Die Einführung von SE und MBSE erfordert ein systematisches Vorgehen. Daher muss das Rahmenwerk ein strukturiertes Vorgehen bereitstellen, welches die Planung der Einführung von der Idee über die Definition von Ist-Situation und Soll-Zustand bis zur Verstetigung unterstützt.

Handlungsfeld 3: Unterstützung der Gestaltung

A8) Organisationsstruktur gestalten: Neben Prozessen, Methoden und Werkzeugen kann die Einführung von SE und MBSE erheblichen Einfluss auf die Aufbauorganisation eines Unternehmens haben – entsprechende Zusammenhänge wurden bislang jedoch zu wenig betrachtet. Das Rahmenwerk muss daher eine Gestaltungsunterstützung für die Planung SE-gerechter Aufbauorganisationen bereitstellen.

A9) Berücksichtigung von Großunternehmen: Großunternehmen haben besondere strukturelle Vor- und Nachteile bei der Einführung von Systems Engineering und Model-Based Systems Engineering. Das Rahmenwerk muss so gestaltet sein, dass diese Besonderheiten berücksichtigt werden. Das gilt im Besonderen hinsichtlich der hohen Heterogenität, die innerhalb des Unternehmens auftreten kann, z. B. aufgrund unterschiedlicher Werke, Geschäftsbereiche oder Abteilungen. Gestalterische Ansätze müssen die geringeren Freiheitsgrade der Gestaltung in Großunternehmen berücksichtigen.

A10) Methoden- und Werkzeugunabhängigkeit sicherstellen: Abhängig von den konkreten Bedarfen können unterschiedliche SE-Methoden und -Werkzeuge für das betrachtete Unternehmen geeignet sein. Das Rahmenwerk soll unabhängig von konkreten Methoden und Werkzeugen bleiben und so die notwendige Flexibilität liefern. Das Rahmenwerk soll darüber hinaus die Einbindung dedizierter Ansätze zur Gestaltung von Methodenleitfäden und Werkzeugketten erlauben.

3 Stand der Technik

Im Rahmen der Problemanalyse wurde gezeigt, dass Bedarf für ein *Rahmenwerk zur Einführung von Systems Engineering und Model-Based Systems Engineering* besteht. Dieses soll einen ganzheitlichen Rahmen für die Einführung von SE bieten. Vor diesem Hintergrund werden in Kapitel 3.1 zunächst Erklärungsmodelle im Kontext der Produktentwicklung untersucht. So soll eine ganzheitliche Betrachtung ermöglicht werden. Darüber hinaus wurde der Bedarf für die Identifikation der Ist- und Soll-Leistungsfähigkeit des Unternehmens identifiziert. Aus diesem Grund analysiert Kapitel 3.2 Reifegradmodelle im Kontext der Produktentstehung. Aufgrund der in der Problemanalyse aufgezeigten Bedeutung von Change Management für die SE, werden in Kapitel 3.3 verschiedene Ansätze zur Einführung von Veränderungen untersucht. Dabei werden sowohl generische als auch SE-spezifische Ansätze betrachtet. Darüber hinaus wurde der Bedarf für die Unterstützung der Gestaltung von SE-geeigneten Organisationsstrukturen identifiziert. Eine Untersuchung bestehender Organisationskonzepte im Kontext des SE erfolgt in Kapitel 3.4. Abschließend werden die beschriebenen Ansätze in Kapitel 3.5 mit den gestellten Anforderungen abgeglichen und ein Handlungsbedarf identifiziert.

3.1 Erklärungsmodelle

Ausgehend von Handlungsfeld 1 werden im Folgenden Erklärungsmodelle der Produktentstehung aus unterschiedlichen Kontexten vorgestellt, welche Teilaspekte des SE betrachten. Die Produktgenerationsentwicklung nach ALBERS beschreibt grundlegende Beobachtungen der Entwicklung neuer Systeme. Das Open Group Architecture Framework und SPEM 2.0 kommen aus dem Kontext der Organisations- bzw. IT-Infrastrukturgestaltung und legen einen entsprechenden Fokus. Das „extended Meta-model for workflow resource models“ steht stellvertretend für den Blickwinkel der Workflows, welche Prozesse, Tätigkeiten, Artefakte und Mitarbeiter in Verbindung setzen. ISO 42010 wiederum ist ein zentrales Element des SE und stellt Aspekte im Kontext der Architekturgestaltung dar. Als integrativer Rahmen aller zur Produktentwicklung relevanten Aspekte wird abschließend das ZOPH-Modell vorgestellt, welches vor dem Hintergrund der ganzheitlichen Denkweise des Systems Engineerings entstanden ist.

3.1.1 Produktgenerationenentwicklung nach ALBERS

Das Modell der Produktgenerationenentwicklung (PGE) beschreibt grundsätzliche Beobachtungen zur Entwicklung neuer technischer Systeme, die auf alle Entwicklungsprojekte übertragbar sein sollen [ARS+19]. Zwei Grundannahmen sind dabei wesentlich: Erstens besteht jede Produktentwicklung aus bereits existierenden Teillösungen, z. B. aus der Vorgängergeneration, Wettbewerbsprodukten oder der Forschung. Jede Produktentwicklung ist demnach eine Entwicklung einer neuen Produktgeneration. Zweitens sind ausschließlich drei Arten der Entwicklung möglich: Bei der Übernahmevariation (ÜV)

wird ein bekanntes Teilsystem für ein neues Produkt übernommen. Bei der Gestaltvariation (GV) wird die Gestalt eines bekannten Produkts angepasst, bei der Prinzipvariation (PV) das Lösungsprinzip [ABW15]. Der Ansatz ist an verschiedenen Referenzsystemen erprobt [ABR16], [ARS+19].

Bewertung: Das Modell der PGE beschreibt eine grundlegende, branchen- und disziplinunabhängige Logik bei der Produktentwicklung und kann auch im Kontext MBSE angewendet werden [MSY+20]. Das Modell bezieht sich auf den Prozess der Produktentwicklung und die damit verbundenen Aktivitäten, trifft jedoch keine Aussagen bezüglich der Organisation, beteiligten Rollen, etc. Es beschreibt demnach eine grundlegende Ablauflogik von Entwicklungsprozessen bzw. -projekten, bietet jedoch keine ganzheitliche Beschreibung des Systems Produktentwicklung mit seinen verschiedenen Facetten.

3.1.2 The Open Group Architecture Framework

Das „The Open Group Architecture Framework“ (TOGAF) ist ein offener Industriestandard zur Gestaltung von Unternehmensarchitekturen, welcher von der Open Group weiterentwickelt wird. Die aktuelle Version ist 9.2. TOGAF stellt unter anderem eine Methode zur Architekturentwicklung, Richtlinien und ein Rahmenwerk bereit, die bei der Planung und Gestaltung helfen. Darüber hinaus diskutiert der Standard auch, welche Aspekte notwendig sind, um eine Architektur in einem Unternehmen zu etablieren und zu nutzen. Die Architektur selbst wird in Part IV „Architecture Content Framework“ des Standards beschrieben. Als Erklärungsmodell stellt TOGAF ein Core Content Metamodel und sechs Erweiterungen zu diesem Modell bereit. Die Erweiterungen behandeln die Aspekte Führung, Services, Prozessmodellierung, Daten, Infrastruktur und Motivation. Das in Bild 3-1 auszugsweise dargestellte Core Metamodel umfasst inklusive der Erweiterungen 35 Elemente und deren Beziehungen. Beispielsweise gehört ein Akteur zu einer Organisationseinheit und führt Aufgaben gemäß der Rolle aus, die er ausfüllt [Ope18].

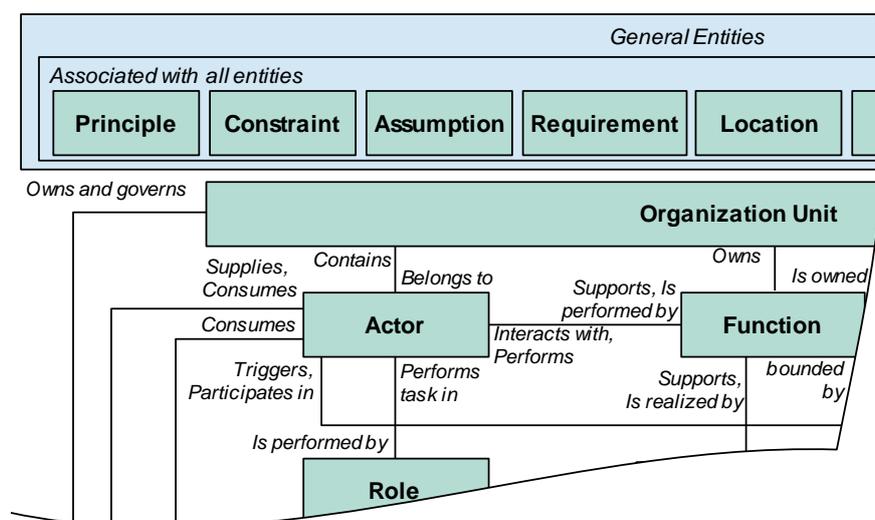


Bild 3-1: TOGAF Core Content Metamodel Elemente und Beziehungen (Auszug)

Bewertung: TOGAF liefert ein allgemeingültiges Metamodell zur Beschreibung einer Organisation. Der Standard ist seit 1995 kontinuierlich weiterentwickelt worden und liefert mit seinen Erweiterungen viele detaillierte Hinweise für seine Anwender. Dieser Detailgrad wird aber mit einer hohen Komplexität des Standards erkauft, die Dokumentation beläuft sich auf über 500 Seiten, so dass die Anwendung Experten für TOGAF erfordert. Zudem fokussiert TOGAF nicht auf die Produktentwicklung. Die dazu wichtigen Projekte werden im Modell nicht beachtet.

3.1.3 OMG SPEM 2.0

Die “Software & Systems Process Engineering Meta-Model Specification” (SPEM) der Object Management Group zielt auf die Modellierung von Prozessen für Software- und Systems Engineering. Dazu liefert SPEM auf Basis der UML ein Metamodell, welches die Beschreibung von Prozessen standardisieren soll. Es besteht aus sieben Paketen: *Core Package*, *Process structure*, *Process behavior*, *managed content*, *method content*, *process with methods* sowie *method plugin*. Die Elemente des Metamodells werden über Stereotypisierung aus der UML abgeleitet. Zudem erhalten viele Elemente eigene Icons, welche beim Lesen der Modelle das Verständnis verbessern sollen. Für die Elemente im Metamodell definiert SPEM gültige Beziehungen sowie Beschreibungsattribute, etwa Name, Kurz- und Langbeschreibung, Zweck, etc. Dadurch ermöglicht SPEM die detaillierte Beschreibung von Zusammenhängen zwischen Prozessen, Methoden, Rollen, Aufgaben, Qualifikationen und Werkzeugen [Omg08].

Bewertung: SPEM liefert eine detaillierte Modellierungssprache zur Darstellung von Prozessen im Kontext der Software- oder Systementwicklung. Die Sprache basiert auf der UML, entsprechend verbreitet ist die Werkzeugunterstützung. Für Anwender außerhalb der Informatik erschwert dies das Verständnis des Metamodells jedoch. Größter Nachteil von SPEM ist die Komplexität des Metamodells. Die Beschreibung der sieben Pakete umfasst über 100 Seiten, auf denen im Wesentlichen detaillierte Zusammenhänge präsentiert werden. Eine aussagekräftige abstrakte Darstellung fehlt. Gemäß dem Zweck beschränkt SPEM sich im Wesentlichen auf Prozesse und damit verbundene Aspekte. Organisatorische Aspekte wie die Aufbauorganisation werden nicht betrachtet.

3.1.4 An extended Meta-model for workflow resource model

Um Arbeitsabläufe im Unternehmen zu standardisieren wird häufig auf Workflows gesetzt. Hierfür sind insbesondere die verfügbaren Ressourcen relevant. XIAO et al. stellen auf Basis von Studien und Anwendungsfällen ein Metamodell für diesen Kontext bereit. Der Fokus des Modells liegt auf der Modellierung von Ressourcen. Diese können, wie in Bild 3-2 dargestellt, sowohl aus funktionaler Sicht als auch aus organisatorischer Sicht betrachtet werden. Aus **funktionaler Sicht** nimmt eine Ressource eine oder mehrere Rollen ein. Eine Rolle erfüllt bestimmte Aufgaben und hat Rechte und Verpflichtungen. Aus **organisatorischer Sicht** füllt eine Ressource eine Stelle aus, also eine Position innerhalb

einer Organisation. Diese gehört wiederum zu einer Organisationseinheit. Jede Ressource hat wiederum bestimmte Fähigkeiten, die sie nutzen kann, um den Rollen gerecht zu werden, die sie ausfüllt. Erweiterungen zum Metamodell stellen zudem dar, dass das Ausführen einer Rolle durch eine Ressource („acts as“) neben den Kompetenzen auch von Präferenzen abhängt [XCW+06].

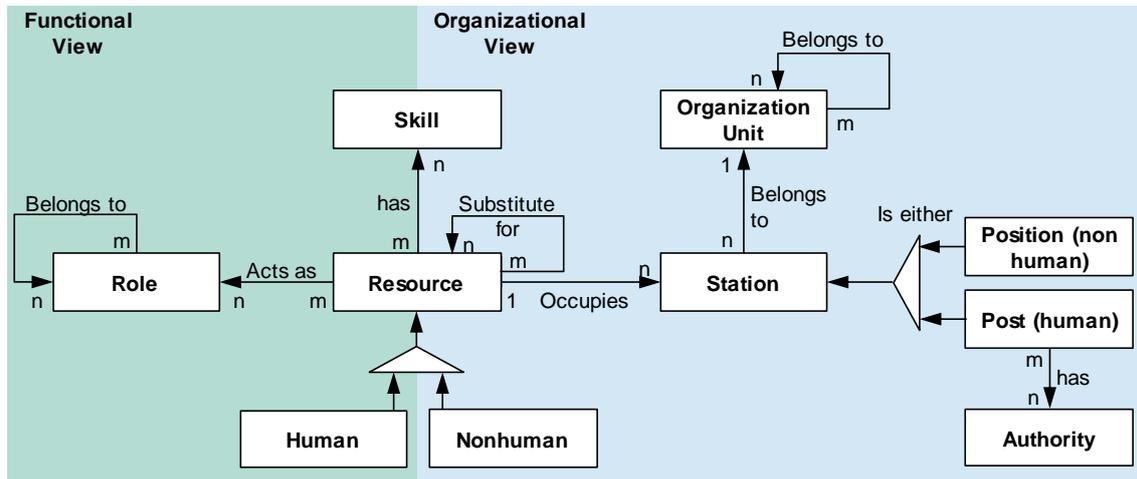


Bild 3-2: Metamodell für die Workflow-Ressourcenmodellierung, nach [XCW+06]

Bewertung: Das Modell ist einfach verständlich und bietet relevante Informationen zum Zusammenhang zwischen Rollen, Organisationen und Ressourcen. Die Bestandteile des Metamodells werden miteinander in Beziehung gesetzt, so dass die generelle Struktur der Einbindung von Ressourcen in Organisation und Prozesse ersichtlich wird. Das Modell beschreibt jedoch ausschließlich Elemente, die eng mit der Ressource zusammenhängen. Zusammenhänge der Rolle mit Prozessen, die Anwendung von Methoden und Werkzeugen oder die Auswirkung von Projekten werden nicht betrachtet.

3.1.5 ISO/IEC/IEEE 42010

ISO/IEC/IEEE 42010 – Systems and Software Engineering Architecture Description erläutert Architekturbeschreibungen im Kontext von Software- und Systems Engineering [ISO42010]. Hierzu werden die wesentlichen Begriffe und deren Abhängigkeiten untereinander beschrieben. Kern des Standards ist das in Bild 3-3 dargestellte Modell für Architekturbeschreibungen. Im Zentrum steht die Architekturbeschreibung, ein Entwicklungsartefakt, das die reale Architektur beschreibt. Als Entwicklungsartefakt ist sie abhängig vom Zeitpunkt im Lebenszyklus und ihren Stakeholdern. Deren Bedarfe werden durch Concerns dargestellt, die unspezifisch als „any topic of interest“ definiert werden. Der Zugriff eines Stakeholders auf die Architekturbeschreibung erfolgt über Sichten.

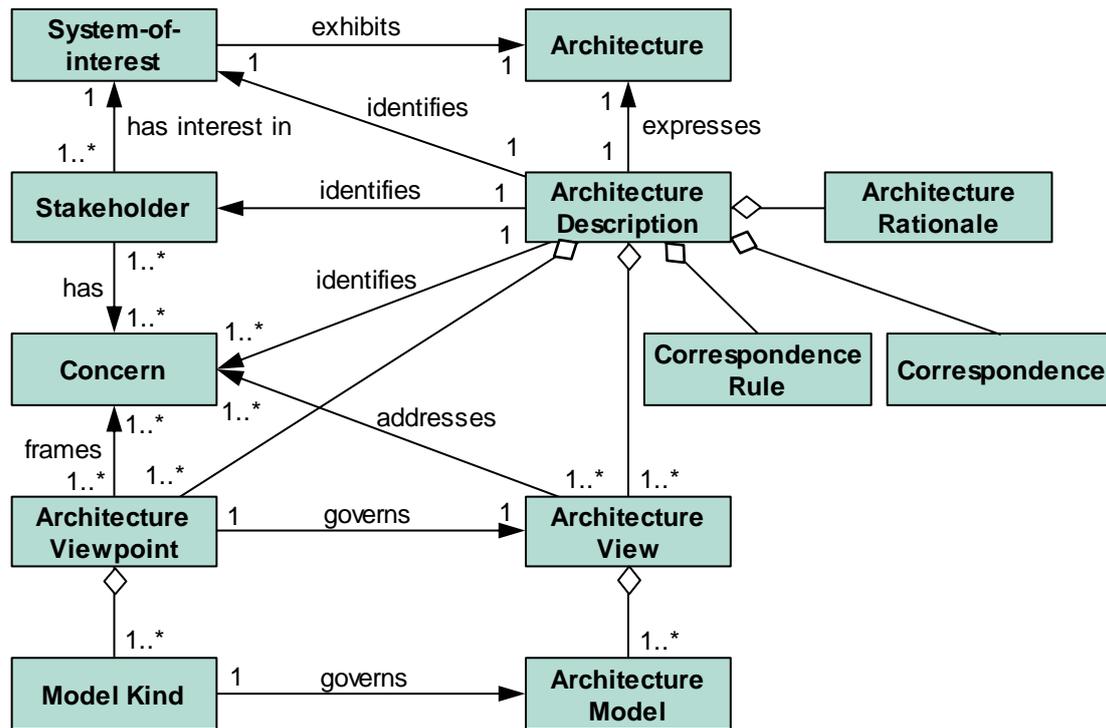


Bild 3-3: Architekturbeschreibung nach ISO/IEC/IEEE 42010

Zu diesem Zweck adressieren die Sichten die Concerns, so dass ein Stakeholder mit Hilfe einer Sicht auf die Architekturbeschreibung genau diejenigen Informationen erhält, die er zur Befriedigung eines Concerns benötigt. Die Erstellung der Sichten hängt von den „Architecture Viewpoints“ ab, wobei die Norm an dieser Stelle ungenau bleibt.

Bewertung: Die ISO/IEC/IEEE liefert eine Standardisierung der relevanten Begriffe rund um die Architekturbeschreibung von Systemen. Sie bezieht sich damit auf einen begrenzten Ausschnitt der Produktentwicklung, ist jedoch so generisch gehalten, dass die Konzepte auch auf andere Artefakte übertragen werden können. Insbesondere liefert der Standard gute Ansätze zur Beschreibung der Zusammenhänge zwischen Stakeholdern, deren Bedarfen und Entwicklungsartefakten bzw. Sichten auf diese. Woher solche Artefakte stammen, beispielsweise aus Prozessschritten oder Methoden, behandelt der Standard nicht. Ebenso wenig werden nötige Kompetenzen der Stakeholder betrachtet.

3.1.6 ZOPH-Modell

Das ZOPH-Modell ist ein Ansatz zur ganzheitlichen Modellierung von Systemen zur Produktentwicklung [NFI97]. Ein solches System wird, wie in Bild 3-4 beschrieben, durch die Teilmodelle **Z**ielsystem, **O**bjektsystem, **P**rozesssystem und **H**andlungssystem sowie deren Abhängigkeiten untereinander modelliert. Das Modell des Zielsystems beschreibt die Ziele aller weiteren betrachteten Systeme (O, P und H), etwa auf Basis von Kundenanforderungen, Zeitplänen und Prozesszielen. Das Objektsystem beschreibt ein zu entwickelndes Produkt über dessen Funktionen, Komponenten, Relationen und Attribute. Das

Prozesssystem beschreibt den Entwicklungsprozess mit seinen Teilprozessen, Aktivitäten und Ereignissen. Das Handlungssystem beschreibt die handelnde Organisation mit ihren Strukturen und Ressourcen. Ressourcen können dabei sowohl personell als technisch sein, z. B. Mitarbeiter, Maschinen oder Werkzeuge. Zur Modellierung schlägt das Konzept die Modellelemente Systeme, Elemente (Teilsysteme), Eigenschaften, Funktionen, In- und Outputs sowie Relationen vor. Relationen existieren dabei sowohl innerhalb der einzelnen Systeme (Z, O, P und H) als auch zwischen diesen. ZOPH ist damit vergleichbar zum Konzept der Modellierungssprache CONSENS mit ihren Partialmodellen und Beziehungen in und zwischen diesen.

Ein Produktentwicklungssystem setzt demnach durch die Elemente des Handlungssystems das Prozesssystem um, wodurch Ergebnisse erarbeitet werden. Diese werden im Objektsystem beschrieben und erfüllen die Ziele des Zielsystems. In- und Outputs des Produktentwicklungssystems bilden die Schnittstelle zu seiner Umgebung.

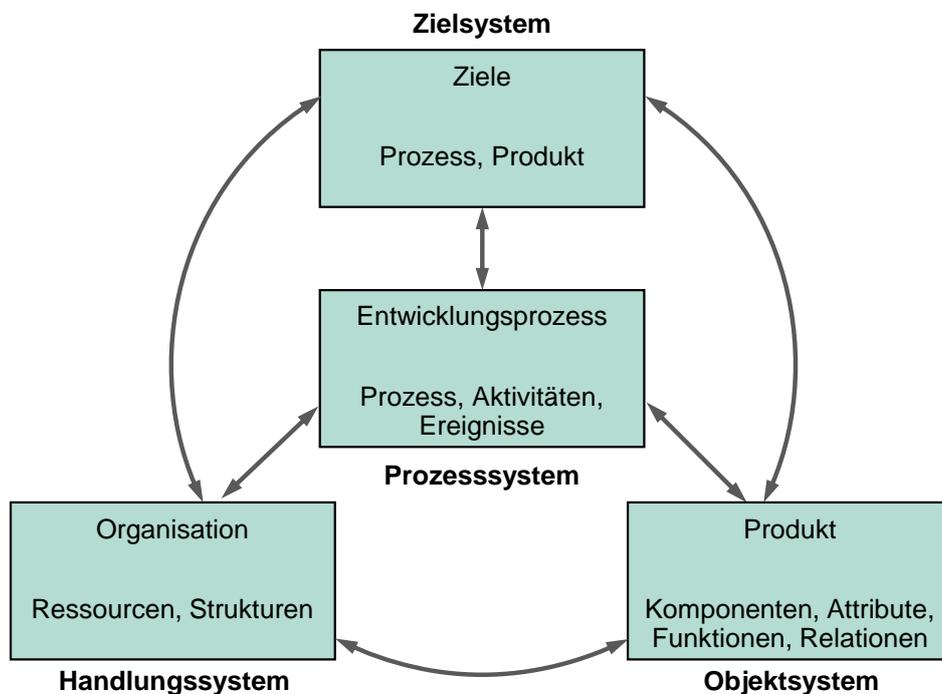


Bild 3-4: ZOPH Modellstruktur, nach [NFI97]

Bewertung: Das ZOPH-Modell ist kein konkretes Modell der Produktentwicklung, sondern ein Modellierungsrahmen für Produktentwicklungssysteme. Entsprechend beschreibt der Ansatz die Produktentwicklung, verglichen mit SPEM 2.0 und TOGAF, wenig detailliert, jedoch breiter. ZOPH liefert dementsprechend vielfältige Hinweise auf Aspekte, die für ein Modell der Produktentstehung berücksichtigt werden können, etwa Umfeldaspekte wie Zulieferer und Marktentwicklungen oder die Qualifikation und Erfahrungen von Personal [BFN05]. Diese lassen sich im Rahmen der vier Teilsysteme bedarfsgerecht integrieren und nach Bedarf modellieren.

3.2 Reifegradmodelle für die Produktentwicklung

Reifegradmodelle (RGM) sind ein etabliertes Mittel zur objektiven Bewertung der Leistungsfähigkeit von Organisationen oder Objekten sowie zur Steigerung dieser Leistungsfähigkeit. Sie können damit geeignet sein, die Leistungsbewertung und -steigerung im Zuge der Einführung von SE und MBSE gemäß Handlungsfeld 2 zu unterstützen. Zur Bewertung von Prozessen sind RGM weit verbreitet, die Betrachtung anderer Aspekte (z. B. der Aufbauorganisation) ist weniger verbreitet. Da keine adäquaten Reifegradmodelle zur Unterstützung der SE-Einführung verfügbar sind (vgl. auch Kapitel 3.3.2.4), werden im Folgenden ausgewählte Reifegradmodelle aus dem Prozessmanagement hinsichtlich ihrer Eignung für das zu entwickelnde Reifegradmodell überprüft.

3.2.1 Capability Maturity Model Integration

Das Capability Maturity Model Integration (CMMI) ist ein verbreiteter Ansatz zur strukturierten Leistungsbewertung und -steigerung mit Hilfe eines Reifegradmodells. Entwickelt wurde das Modell auf Basis des Software Capability Maturity Models (CMM), wobei für unterschiedliche Anwendungsfälle auch unterschiedliche CMMI-Derivate entwickelt wurden. In der aktuellen Version 1.3 von 2010 existieren *CMMI for Development (CMMI-DEV)*, *CMMI for Services* und *CMMI for Acquisition*. Die Struktur der drei Ansätze ist identisch, lediglich die konkreten Inhalte variieren. Im Folgenden wird vor dem Hintergrund der in der Arbeit betrachteten Produktentwicklung CMMI-DEV weiter betrachtet. CMMI-DEV ist auch vor dem Hintergrund des Systems Engineerings relevant, da unter anderem das anschließend nicht mehr weiterentwickelte SE-CMM (A Systems Engineering Capability Maturity Model) von 1995 in die Erarbeitung von CMMI-DEV eingeflossen ist [Sei11].

Die Struktur von CMMI orientiert sich an Prozessgebieten und generischen sowie spezifischen Zielen und Praktiken. Die unterschiedlichen Prozessgebiete können als Handlungsfelder des Reifegradmodells betrachtet werden. CMMI-DEV unterscheidet 22 Prozessgebiete (z. B. Entscheidungsfindung, Projektplanung, etc.), die in vier Kategorien Projektmanagement, Prozessmanagement, Ingenieursdisziplinen und Unterstützung unterteilt werden. Bild 3-5 stellt die Struktur grafisch dar. Die generischen Ziele und Praktiken gelten über alle Prozessgebiete. Die generischen Praktiken unterstützen dabei das Erreichen der generischen Ziele. Eine generische Praktik zum Erreichen geführter Prozesse ist es, „organisationsweite Leitlinien zu etablieren“ [Sei11].

Zur Verbesserung der einzelnen Prozessgebiete werden je Prozessgebiet spezifische Ziele bereitgestellt. Sie bilden auch Anhaltspunkte für die Bewertung der Leistungsfähigkeit im jeweiligen Prozessgebiet. Ein exemplarisches spezifisches Ziel für das Prozessgebiet organisationsweite Aus- und Weiterbildung ist „Organisationsweite Fähigkeit zur Aus- und Weiterbildung etablieren.“ Zum Erreichen der spezifischen Ziele werden jeweils mehrere spezifische Praktiken zugeordnet. Für das genannte Ziel ist unter anderem die Praktik „Festlegen, welcher Aus- und Weiterbildungsbedarf in der Verantwortung der

Organisation liegt“ genannt. Die Erreichung spezifischer Ziele führt zu Verbesserungen der Prozesse. Die Institutionalisierung dieser Verbesserungen wird durch die generischen Ziele und Praktiken unterstützt [Sei11].

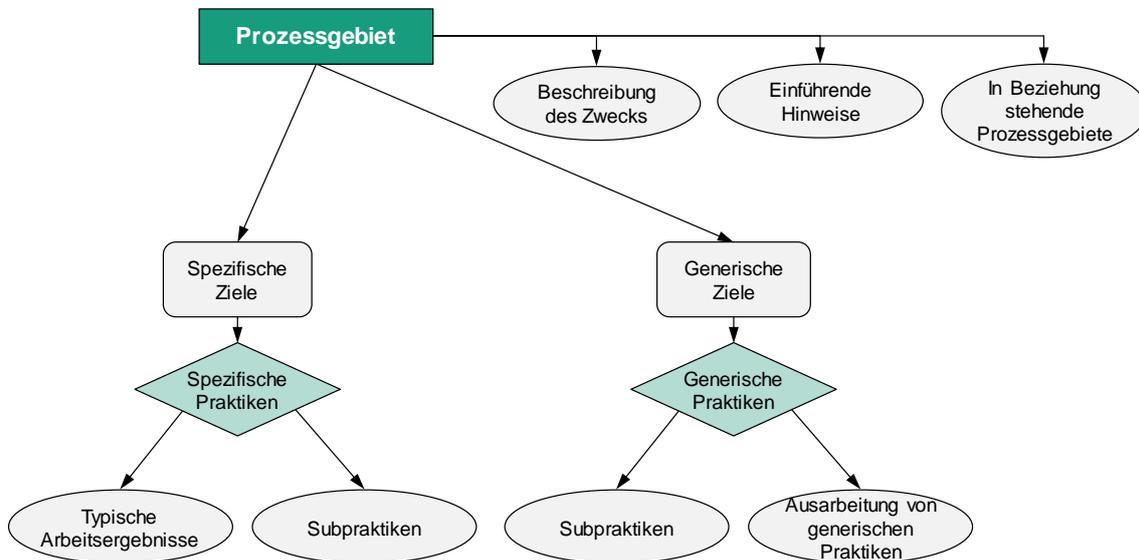


Bild 3-5: Struktur von CMMI, nach [Sei11]

Für die **Leistungsbewertung** unterscheidet CMMI zwischen Fähigkeits- und Reifegraden. Die Fähigkeitsgrade beschreiben die Verbesserung auf Prozessebene, die Reifegrade weisen auf den Institutionalisierungsgrad der Prozesse hin. Hierzu wird zwischen fünf Reifegraden (initial, geführt, definiert, quantitativ geführt, prozessoptimierend) und vier Fähigkeitsgraden (unvollständig, durchgeführt, geführt, definiert) unterschieden. Bei der **Leistungssteigerung** zielt CMMI immer auf das Erreichen eines möglichst hohen Entwicklungsgrades ab [Sei11].

Bewertung: CMMI lässt sich flexibel in verschiedenen Unternehmen einsetzen und ermöglicht einen Vergleich von Unternehmen. Die Flexibilität und Größe des Ansatzes führen jedoch zu hohen Anforderungen an ausführende Personen. Das generelle Bestreben, möglichst hohe Fähigkeitsgrade zu erreichen, ist für die Einführung neuer Themen wenig geeignet, da keine Priorisierung hinsichtlich der erreichbaren Mehrwerte möglich ist. Aufgrund der hohen Komplexität des Modells sind umfassende Schulungen für die Anwendung notwendig. Die Anwendung und Implementierung ist nur in einem langfristigen Rahmen möglich [GP14]. Das Modell bezieht sich zudem nur auf Unternehmensprozesse, somit fehlt die Betrachtung geeigneter Aufbauorganisationen und Werkzeuge.

3.2.2 Methode zur Leistungsbewertung und Leistungssteigerung der Mechatronikentwicklung nach BALÁZOVÁ

Ziel von BALÁZOVÁs Methode zur Leistungsbewertung und Leistungssteigerung der Mechatronikentwicklung ist es, die Leistungsfähigkeit der Entwicklung mechatronischer Systeme zu verbessern. Zu diesem Zweck stellt BALÁZOVÁ das in Bild 3-6 dargestellte

Vorgehensmodell bereit. Es umfasst 5 Phasen, die in die drei Etappen Vorbereitung, Leistungsbewertung und Leistungssteigerung gegliedert sind. Ausgangspunkt ist die Vorbereitung der Methodenanwendung. Kern der eigentlichen Anwendung ist die Ermittlung von Soll- und Ist-Profil sowie die Entwicklung einer Strategie zur Leistungssteigerung. Die Umsetzung dieser Strategie beendet das Vorgehen [Bal04].

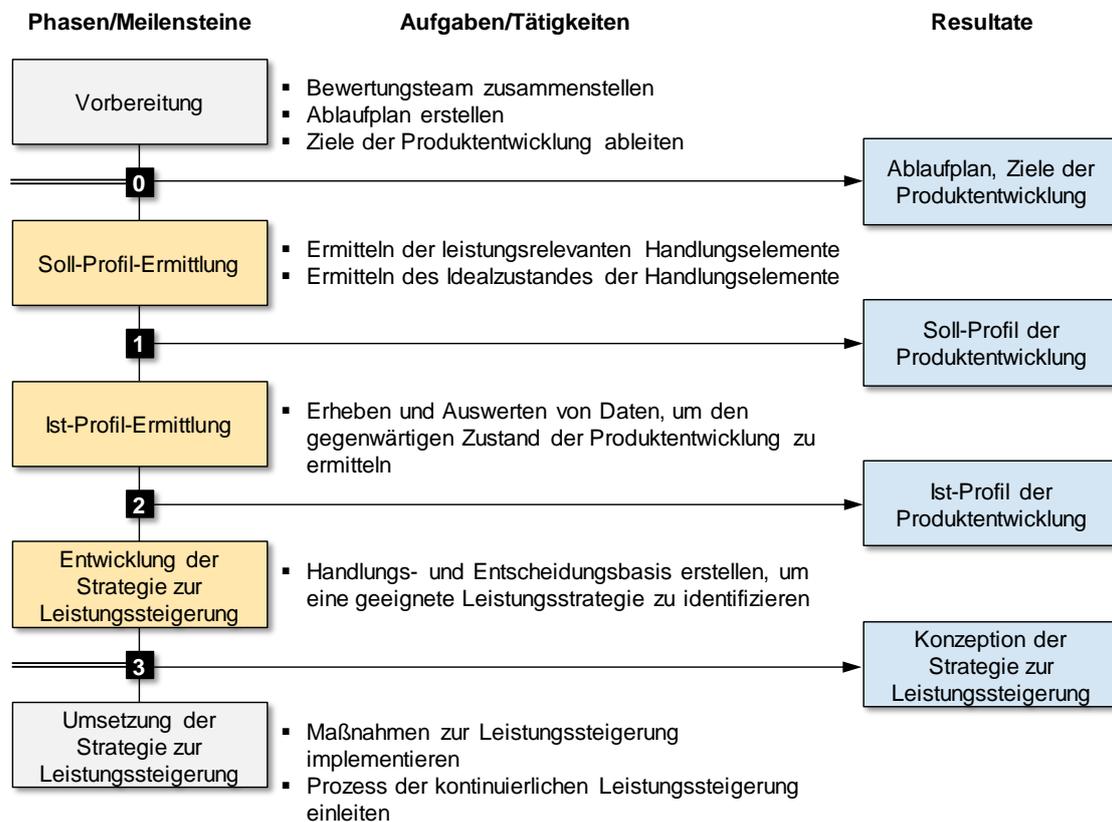


Bild 3-6: Vorgehensmodell nach BALÁZOVÁ [BAL04]

Zur Ermittlung von Soll- und Ist-Profil stellt BALÁZOVÁ einen Katalog von Handlungselementen, sowie Entwicklungsstufen je Handlungselement bereit. Die Handlungselemente werden dabei den drei Handlungsfeldern Mensch, Organisation und Technik zugeordnet. Jedes Handlungselement hat Einfluss auf die Leistungsfähigkeit der Mechatronikentwicklung. Ein exemplarisches Handlungselement des Handlungsfelds „Technik“ ist die Werkzeugkopplung. Dieses beschreibt die Kopplung der verschiedenen Computer Aided Engineering Quellen zur Konsistenzsicherung bzw. den Informationsverlust aufgrund von ungeeigneten Schnittstellen. Mögliche Entwicklungsstufen der Werkzeugkopplung sind „Hohe Qualität der Werkzeugkopplung“, „Geringe Qualität der Werkzeugkopplung“ und „Keine Werkzeugkopplung“ [Bal04].

Die Etappe **Vorbereitung** ist der Ausgangspunkt der Methodenanwendung. Neben der Planung des Teams und Ablaufplans wird hier der Betrachtungsgegenstand festgelegt. Die Kataloge der Handlungselemente und Entwicklungsstufen werden nach Bedarf an das Unternehmen angepasst. Zudem werden die konkreten Ziele für die Leistungssteigerung

definiert. Für die Etappe **Leistungsbewertung** werden Soll- und Ist-Zustand definiert. Zu diesem Zweck werden zunächst die Handlungselemente auf ihre Relevanz im betrachteten Unternehmen geprüft, indem ihre Vernetzung und ihr Zielbeitrag mit Hilfe einer Zielbeitragsmatrix untersucht werden. Das Soll-Profil stellt die Leistungsstufen mit dem höchsten Beitrag zu den Zielen dar. Das Ist-Profil wird über eine Datenerhebung und -auswertung ermittelt, wozu BALÁZOVÁ einen Datenerhebungsbogen als weiteres Hilfsmittel bereitstellt [Bal04].

Die Etappe **Leistungssteigerung** umfasst die Erarbeitung einer Strategie zur Leistungssteigerung sowie die Umsetzung dieser Strategie. Auf Basis der Abweichungen zwischen Soll- und Ist-Profil werden zunächst die Handlungsbedarfe zur Leistungssteigerung erfasst. Unter Berücksichtigung der Aufwände für die Steigerung der Leistungsfähigkeit jedes Handlungselements werden anschließend sinnvolle Entwicklungsstufen bestimmt. Diese fassen Verbesserungen in mehreren Handlungselementen um eine oder mehrere Leistungsstufen in Gruppen zusammen, die in einem Schritt erreichbar sind. Für die Bildung dieser Entwicklungsstufen werden wiederum Berechnungsvorschriften bereitgestellt. Abschließend werden die erarbeiteten Maßnahmen zur Umsetzung der Strategie abgearbeitet und ein Prozess der kontinuierlichen Leistungssteigerung initiiert [Bal04].

Bewertung: BALÁZOVÁs Methode zur Leistungsbewertung und -steigerung der Mechatronikentwicklung berücksichtigt die Aspekte Mensch, Organisation und Technik und beschreibt die damit verbundenen Handlungselemente ausführlich. Die Methode hat nicht das Erreichen eines möglichst hohen Reifegrades zum Ziel, sondern erlaubt eine bedarfsgerechte Leistungssteigerung auf Basis definierter Ziele. Der Leistungsstufenkatalog unterscheidet zum Teil nur binär zwischen zwei Leistungsstufen. Die verfügbaren Handlungselemente sind aus Sicht des SE unvollständig, direkte Zusammenhänge von Modellen und Prozessen können im Modell nicht abgebildet werden.

3.2.3 Reifegrade nach CHRISTIANSEN

CHRISTIANSEN stellt einen Ansatz zur strukturierten Entwicklung von reifegradbasierten Leistungsbewertungs- und Leistungssteigerungsmodellen bereit. Dabei stellt CHRISTIANSEN heraus, dass alle Modelle auf einem ähnlichen Vorgehen basieren. Dieses Vorgehen ist in Bild 3-7 dargestellt. Ausgangspunkt der Leistungsbewertung und -steigerung ist das betrachtete **System**, typischerweise ein Unternehmen, eine Organisationseinheit oder ein Prozess. Mithilfe einer Zustandserfassung werden zunächst Informationen über das System erfasst, etwa über Prozessanalyse, Interviews oder ähnliches. Im Rahmen der Zustandsanalyse werden diese Informationen aufbereitet, um anschließend in der Zustands-synthese ein plausibles Abbild des Ist-Zustandes zu erarbeiten. Die im kontinuierlichen Wechsel durchzuführenden Schritte Zustandsanalyse und -synthese ergeben die **Leistungsbewertung** [Chr09].

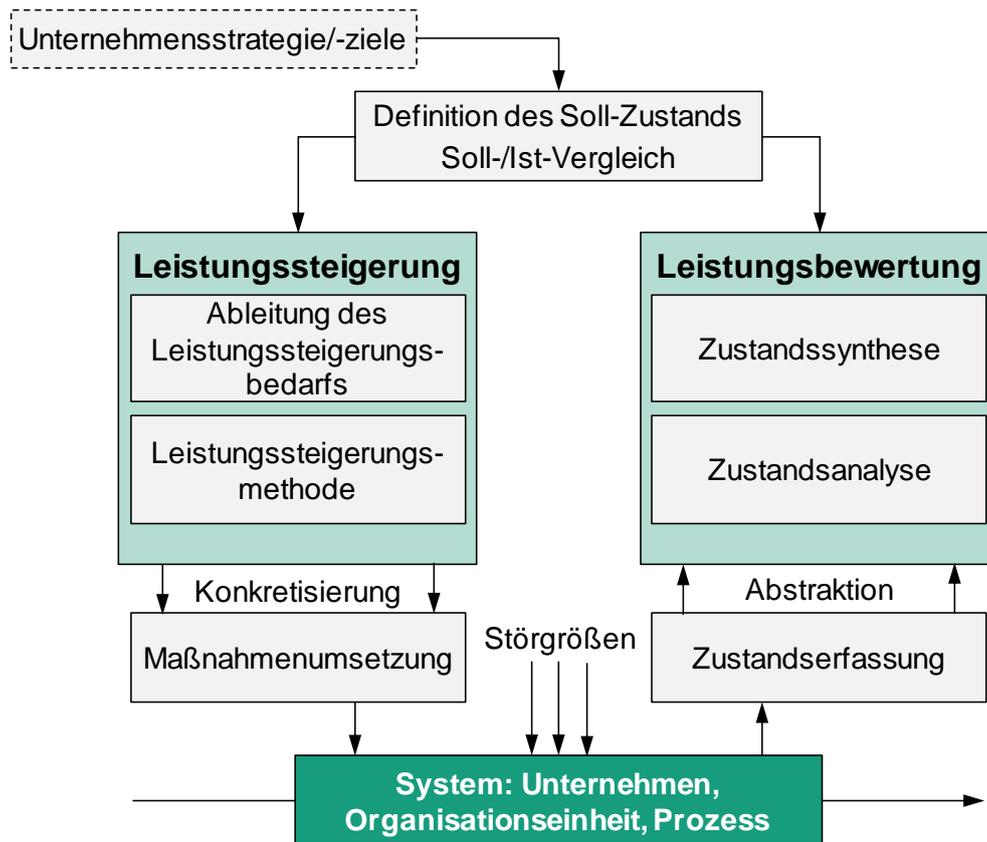


Bild 3-7: Ablauf von Leistungsbewertungs- und Leistungssteigerungsmodellen nach CHRISTIANSEN [Chr09]

Im nächsten Schritt wird auf Basis gegebener Rahmenbedingungen, wie etwa der Unternehmensstrategie, der **Soll-Zustand** definiert. Aus dem Delta von Soll- und Ist-Zustand kann der **Leistungssteigerungsbedarf abgeleitet** werden. Aus der Größe und Verteilung des Deltas können Rückschlüsse auf die notwendigen Veränderungen am System gezogen werden. Diese sind der Ausgangspunkt für die Ableitung von Lösungskonzepten mit Hilfe einer **Leistungssteigerungsmethode**, welche die Transformation von Ist- zu Soll-Zustand unterstützt. Die **Umsetzung der Maßnahmen** passt das System gemäß der Leistungssteigerung an und der Regelkreis wird erneut durchlaufen [Chr09].

Bewertung: CHRISTIANSEN stellt eine Metaanalyse zum Hintergrund von Reifegradmodellen bereit und liefert einen Beitrag zur Gestaltung von Reifegradmodellen. Der zugrundeliegende Ablauf kann auch für ein Reifegradmodell für die SE-Einführung übernommen werden. Eine direkt anwendbare Unterstützung für die SE-Einführung liefert der Ansatz naturgemäß nicht.

3.2.4 MBSE Maturity Model nach VOGELSANG

VOGELSANG stellt ein Vorgehens- und Reifegradmodell zur Einführung von MBSE im Unternehmen bereit. Unter dem Begriff MBSE werden hierbei alle Aspekte der Produktentwicklung betrachtet, die durch Modelle unterstützt werden. Das **Vorgehen** verfolgt

fünf Schritte: Ausgangspunkt ist die **Identifizierung der MBSE-Ziele**. Dabei gilt es immer zu hinterfragen, welchen Mehrwert sich das Unternehmen von MBSE verspricht. Hiervon ausgehend wird zunächst der aktuelle Stand bewertet (**Assessment**). Im dritten Schritt wird der Ziel-Stand definiert und eine **Gap Analyse** durchgeführt. Auf Basis dieser Analyse werden schließlich konkrete **Einführungsmaßnahmen definiert und implementiert**. Auf die Notwendigkeit einer ROI-Betrachtung wird hingewiesen, wenngleich keine konkreten Hilfsmittel für diese bereitgestellt werden [Vog19].

Das **Reifegradmodell für die MBSE-Einführung** unterscheidet zwischen **Funktionen** der Entwicklung, **Focus Areas** und den **Fähigkeiten**. Als Funktionen sind „Kontextanalyse“, „Anforderungen“, „Funktionen“, „Architektur“ und „Test“ definiert. Insgesamt wird zwischen 14 Focus Areas unterschiede, z. B. Requirements Modeling oder System Function Specification. Wie in Bild 3-8 dargestellt, sind je Focus Area unterschiedliche mögliche Ausprägungen der Fähigkeiten definiert, wobei mindestens 4 und maximal 7 unterschiedliche Ausprägungen vorliegen [Vog19].

Engineering Functions	Focus Areas	Capabilities											
Context Analysis	Operational Context			A	B	C	D	E		F	G		
	Knowledge Context		A	B	C		D						
Requirements	Scoping	A	B	C	D	E							
	Goal Modeling	A				B	C	D	E	F			
	Scenario Modeling		A	B	C	D	E	F		G			
	Requirements Modeling			A			B	C	D	E	F	G	
Functions	Sys. Function Modeling	A			B		C						D
	Sys. Function Specification			A	B		C		D	E	F		
	Event Chain Modeling				A		B	C					D
	Mode Modeling				A		B		C				D
Architecture	Log. Architecture Modeling		A	B	C	D		E	F	G			
	Log. Component Modeling			A		B	C	D		E			
Testing	System Behavior Testing				A	B	C				D		
	System Quality Testing				A	B	C				D		

Bild 3-8: MBSE-Reifegradmodell nach Vogelsang [Vog19]

Ausprägungen der Fähigkeiten hängen zum Teil von anderen Fähigkeitsausprägungen ab, beispielsweise erfordert das Erreichen von Stufe D: System Function Modeling („Das Modell der Systemfunktionen kann simuliert werden“) unter anderem das Vorhandensein von Stufe F des Operational Context („Das Verhalten des operationellen Kontextes ist ausführbar beschrieben“) – die entsprechenden Abhängigkeiten sind im Reifegradmodell durch die Anordnung der Stufen dargestellt [Vog19].

Von der Anwendung des Reifegradmodells berichtet VOGELSANG, dass bei der Ist-Aufnahme auch scheinbar unmögliche Fähigkeitsausprägungen identifiziert werden, beispielsweise das Fehlen von Ausprägung A bei vorhandener Ausprägung B. Zudem wird

als Erfahrungswert berichtet, dass in nicht mehr als drei Focus Areas gleichzeitig eine Veränderung angestrebt werden sollte [Vog19].

Bewertung: Das Reifegradmodell zur MBSE-Einführung nach VOGELSANG ist pragmatisch und anwenderfreundlich. Es betrachtet explizit MBSE und zielt darauf ab nur die Aspekte des MBSE einzuführen, die für das Unternehmen auch ausreichende Mehrwerte liefern. Wie diese Mehrwerte oder der ROI erarbeitet werden sollen, beantwortet das Modell nicht. Im Gegensatz zu typischen Reifegradmodellen wie CMMI beachtet das Modell zudem die Abhängigkeiten zwischen unterschiedlichen Leistungsstufen. Während das Modell für MBSE eine wertvolle Hilfestellung liefert, fehlt die Betrachtung des klassischen Systems Engineerings. Zudem werden alle Aspekte, die nicht prozessbezogen sind (z. B. Denkweisen, Kultur, etc.) nicht betrachtet. Der Anwendung des Modells steht zudem seine Veröffentlichung im Weg – zwar wird das Modell regelmäßig an der TU Berlin genutzt und auch auf Vorträgen vorgestellt, eine wissenschaftliche Publikation steht allerdings noch aus.

3.3 Ansätze zur Einführung von Veränderungen

Im Folgenden werden verschiedene Ansätze beschrieben, die zur Einführung von Veränderungen im Unternehmen beitragen. In Kapitel 3.3.1 werden dazu allgemeine Ansätze des Change Managements näher beleuchtet. Kapitel 3.3.2 erläutert verfügbare Ansätze zur Einführung von Systems Engineering. Kapitel 3.3.3 betrachtet Ansätze zur organisationalen Verankerung durchgeführter Änderungen.

3.3.1 Change Management

Change Management zielt auf die erfolgreiche Veränderung einer Organisation ab. Aufbauend auf dem Ansatz nach LEWIN werden im vorliegenden Kapitel zunächst die allgemeinen Ansätze nach KOTTER und nach KRÜGER vorgestellt. Stärker auf den europäischen Raum ist der MOTION Ansatz nach SCHUH ausgelegt. Zum Abschluss des Kapitels werden die für Change-Prozesse notwendigen Rollen nach CONNER vorgestellt.

3.3.1.1 Ansatz nach LEWIN

Ausgangspunkt vieler heutiger Change Management Ansätze ist das drei Schritte umfassende Vorgehensmodell für Veränderungen nach LEWIN. Es bezieht sich dabei auf Veränderungen im Allgemeinen, nicht explizit auf Veränderungen in Unternehmen. Nach LEWIN werden in einem erfolgreichen Veränderungsprojekt die drei Schritte „Auftauen“, „Bewegen“ und „Einfrieren“ durchlaufen. Das **Auftauen** ist notwendig, um, ausgehend von einer bestehenden Situation, die Bereitschaft für Veränderungen zu schaffen. Zu diesem Zweck muss die aktuelle Situation destabilisiert werden, während gleichzeitig das Aufkommen von Angst vor der Veränderung vermieden werden muss [Sch96]. Das **Bewegen** beschreibt die eigentliche Veränderung, die kontinuierlich geleitet bzw. verstärkt

werden muss. Das **Einfrieren** beendet schließlich den Wandel, indem die neuen Prozesse, Verhaltensweisen, o.ä. zum Standard werden und so ein neuer stabiler Zustand erreicht wird. Die drei Schritte sind dabei als iteratives Vorgehen zu betrachten [Lew47].

Bewertung: Das Vorgehen nach LEWIN ist einfach verständlich. Es hat nicht den Anspruch, Veränderungen alleinstehend zu erklären. Die grundlegende Logik der drei Schritte spiegelt sich jedoch bis heute in verschiedenen Ansätzen zur Veränderung wider. Aufgrund seiner Einfachheit und der Tatsache, dass das Modell nicht auf Organisationen bezogen ist, bietet es jedoch wenig konkrete Hilfsmittel zur Durchführung und zum Lenken von Veränderungen und ist daher zur Planung einer komplexen Veränderung wie der SE-Einführung nicht geeignet.

3.3.1.2 Ansatz nach KOTTER

KOTTER hat acht kritische Faktoren für erfolgreiche Veränderung identifiziert [Kot95]. Obwohl diese nicht auf Basis wissenschaftlicher Untersuchungen, sondern durch persönliche Erfahrung in vielen Unternehmen, gesammelt wurden, hatten und haben die Erkenntnisse von KOTTER großen Einfluss auf Wissenschaft und Praxis [AHM+12] und werden auch heute als Referenz verwendet [Nis21].

Gespür für große Dringlichkeit: Für erfolgreiche Veränderung ist es zunächst notwendig, allen Beteiligten die Notwendigkeit für die Veränderung klar zu machen. KOTTER verweist hierbei insbesondere auf hohe Führungskräfte. Dabei sollte nicht unterschätzt werden, welcher Aufwand notwendig ist, um die Bereitschaft zum Verlassen der Komfortzone zu erzeugen. Schlechte Geschäftsergebnisse können hierbei helfen, reduzieren jedoch gleichzeitig auch den Handlungsspielraum. Gute Ergebnisse hingegen erschweren die Überzeugungsarbeit. Laut KOTTER sollten mindestens $\frac{3}{4}$ der Führungskräfte eines Unternehmens von der Notwendigkeit für Veränderung überzeugt sein, um ernste Probleme im späteren Change-Prozess zu vermeiden.

Starke Koalition von Veränderern: Um die notwendigen Maßnahmen für die Veränderung später umsetzen zu können, ist eine starke Koalition von Veränderungswilligen notwendig. In dieser Gruppe muss das Top-Management ebenso wie Meinungsführer, Key Customer oder ähnliche Personen vertreten sein. Wichtig ist, dass die Gruppe den notwendigen Einfluss hat, um Veränderungen auch durchsetzen zu können. Daher muss die Koalition gerade in großen Unternehmen auch aus vielen Personen bestehen.

Vision: Eine klare, verständliche und mitreißende Vision ist notwendig, um den Mitarbeitern den eigentlichen Zweck der Veränderung klar zu machen. Ohne Vision bleiben die getroffenen Maßnahmen in der Wahrnehmung der Mitarbeiter reiner Selbstzweck und werden daher nicht wie gewünscht unterstützt. Eine gute Vision sollte in wenigen Minuten erklärt und verstanden werden.

Kommunikation: Um Vision und Maßnahmen im Unternehmen zu verbreiten ist eine gute Kommunikation selbiger notwendig. Dazu sollte auf alle verfügbaren Kommunikationswege (Ansprachen, Meetings, Mitarbeiter-Zeitschriften, ...) zurückgegriffen werden. Zudem ist es wichtig, dass das Verhalten der Führungsebene konsistent zu der kommunizierten Botschaft ist. Ein wesentlicher Teil der Kommunikation ist demnach das Vorgehen mit gutem Beispiel. Hier ist die aufgebaute Koalition von Veränderern wichtig.

Hindernisse beseitigen: Im Verlauf eines Change-Prozesses treten Hindernisse für diesen auf. Dies können z. B. nicht mit der Vision kompatible Strukturen sein, etwa ein Entlohnungssystem, welches die Zusammenarbeit zwischen Abteilungen behindert. Ebenso kann es sich um Führungskräfte handeln, die entgegen des gesteckten Ziels arbeiten. Für ein erfolgreiches Change-Projekt ist es wichtig, dass zumindest die größten Hindernisse so schnell wie möglich beseitigt werden.

Systematisches Planen von schnellen Erfolgen: Große Veränderungen brauchen Zeit. Gleichzeitig ist es jedoch notwendig auch kurzfristig Erfolge aufzuzeigen. Ohne solche verlieren die Mitarbeiter ihre Motivation und üben Widerstand gegen die Veränderung aus. Um die notwendigen kurzfristigen Erfolge auch zu erreichen, müssen diese aktiv als solche geplant werden.

Nicht zu früh aufhören: Nach der Einführung neuer Ansätze ist es wichtig diese zu verstetigen – anderenfalls besteht Gefahr, dass die erarbeiteten Änderungen wieder aus dem Arbeitsalltag verschwinden. Das Change-Projekt endet daher nicht mit dem Go-Live einer Änderung. Stattdessen sollten im nächsten Schritt weitere Aspekte des Unternehmens überarbeitet werden, sofern diese nicht konsistent mit den neuen Änderungen sind.

Änderungen in Unternehmenskultur verankern: KOTTER schlägt vor, gemachte Änderungen langfristig in der Unternehmenskultur zu verankern. Zu diesem Zweck müssen Erfolge und Zusammenhänge auch nach dem Change-Projekt weiter kommuniziert werden. Auch die Besetzung wichtiger Positionen sollte so erfolgen, dass sie konsistent zur neuen Kultur und Vision des Unternehmens ist.

Bewertung: Die acht Faktoren nach KOTTER liefern wichtige Hinweise für die Durchführung von Veränderungsprojekten. KOTTER stellt jedoch kein Vorgehensmodell oder Hilfsmittel bereit, die bei der Durchführung einer Veränderung unter Berücksichtigung der acht Faktoren unterstützen. Zudem ist die Denkweise hinter den Faktoren zum Teil stark Top-Down geprägt. Die zwingend notwendige Einbindung der operativen Arbeitsebene wird nicht direkt adressiert.

3.3.1.3 Ansatz nach KRÜGER

KRÜGER beschreibt einen generischen Ablauf für Wandlungsprozesse und bettet diesen in das 3W-Modell als Orientierungsmodell zur strategischen Erneuerung ein. Das 3W-Modell beschreibt, wie in Bild 3-9 dargestellt, wie auf Basis von Wandlungsbedarf, -bereitschaft und -fähigkeit eine strategische Erneuerung erreicht werden kann und setzt

dazu den Wandlungsprozess in Beziehung zu unterstützenden Faktoren. Strategien, Human Resource Management, Kommunikation, Controlling und Werkzeuge sind dabei begleitend für den gesamten Wandel relevant. Die Faktoren *Leadership*, *Mitarbeiter* und *Projekt- und Programm-Management* sind ebenso für den gesamten Zyklus relevant, jedoch ist *Leadership* besonders zum Start von Wandlungsprozessen wichtig, während das Projekt- und Programmmanagement für die eigentliche Implementierung der Veränderungen von größerer Bedeutung sind [KB14].

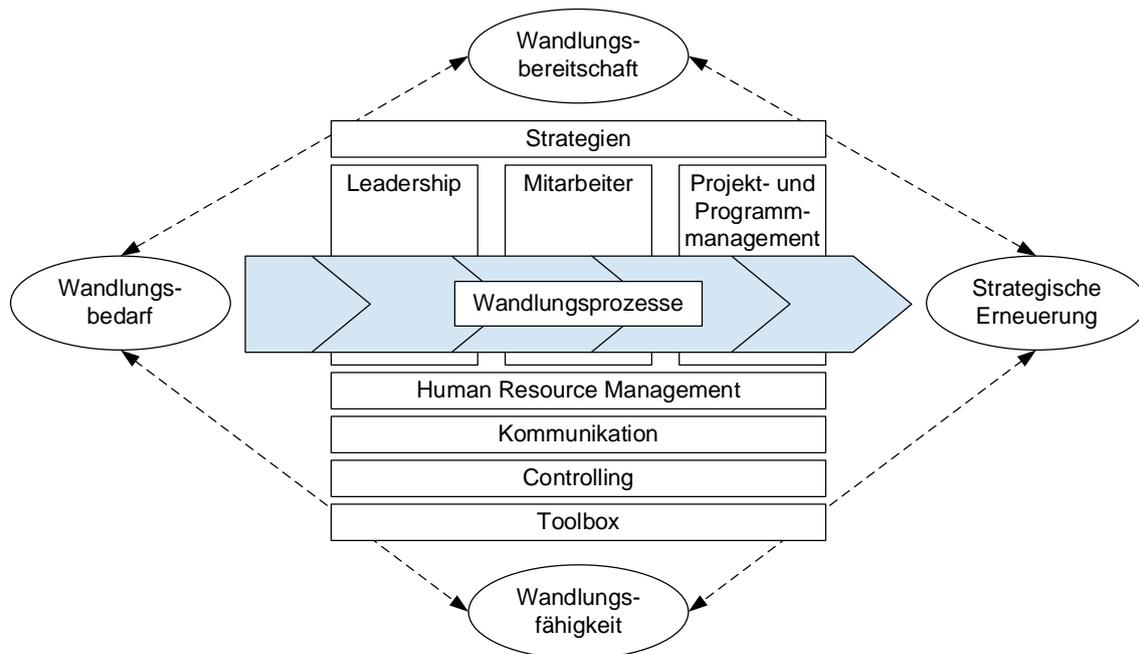


Bild 3-9: 3W-Orientierungsmodell der strategischen Erneuerung nach KRÜGER [KB14]

Die genannten Faktoren können als Befähiger für den Wandel betrachtet werden. Der eigentliche Wandlungsprozess ist Kern des 3W-Modells. KRÜGER beschreibt hierzu einen aus fünf Schritten bestehenden Wandlungsprozess, wie in Bild 3-10 dargestellt. Demnach werden beim Wandel die fünf Phasen Initialisierung, Konzipierung, Mobilisierung, Umsetzung und Verstetigung durchlaufen. Die Phase **Initialisierung** ist der Ausgangspunkt einer Veränderung. Hier gilt es, zunächst den Bedarf für einen Wandel festzustellen und anschließend die Wandlungsträger zu aktivieren. Die Wandlungsträger sind diejenigen Personen oder Gruppen, die einen maßgeblichen Einfluss auf Verlauf und Ergebnis des Veränderungsprozesses haben. Auch gilt es bereits in der Initialisierung, eine Vision für die Veränderung zu erarbeiten. In der zweiten Phase **Konzipierung** gilt es, das eigentliche Veränderungsvorhaben auszuarbeiten. Hierfür werden auf Basis der groben Zielstellung aus Phase eins zunächst konkrete Wandlungsziele abgeleitet und im nächsten Schritt Maßnahmen zur Erreichung der Ziele ermittelt. Im Rahmen der **Mobilisierung** wird schließlich das Wandlungskonzept kommuniziert, um die Wandlungsbereitschaft sicherzustellen. Zudem gilt es auch die notwendigen Rahmenbedingungen für den Wandel zu

schaffen. In der vierten Phase **Umsetzung** gilt es die relevanten Teilvorhaben durchzuführen, welche nach verschiedenen Faktoren priorisiert werden. Über Folgeprojekte können die Ergebnisse erweitert oder auf andere Bereiche übertragen werden. Den Abschluss des Vorgehens bildet die **Verstetigung**, durch die die Veränderungen im Unternehmen verankert werden sollen. Zudem gilt es, im Rahmen der Verstetigung sicherzustellen, dass im Unternehmen auch für zukünftige Veränderungen die notwendige Wandlungsbereitschaft und -fähigkeit vorliegt. Für jede der Phasen werden neben ausführlichen Beschreibungen auch Checklisten zur Kontrolle der Fortschritte bereitgestellt [KB14].

Wandlungsprozess und Wandlungsmanagement

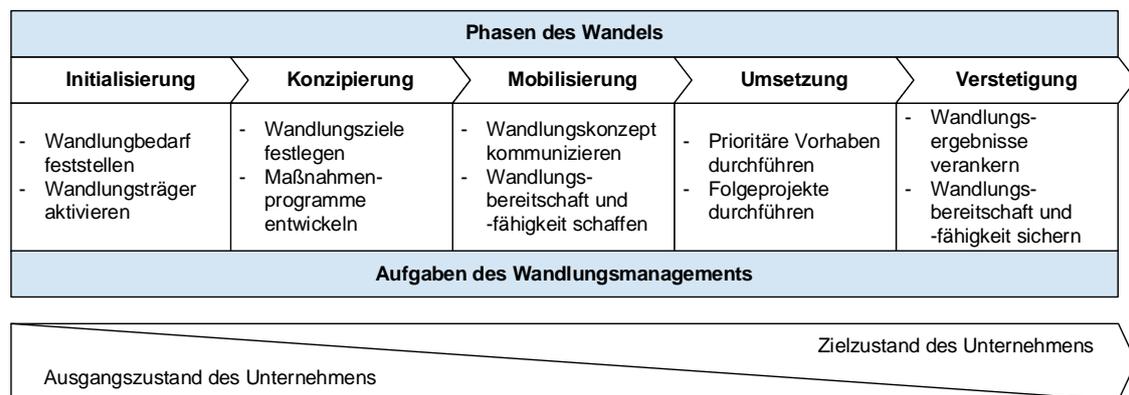


Bild 3-10: Wandlungsprozess und Wandlungsmanagement nach KRÜGER [KB14]

Bewertung: Der Veränderungsansatz nach KRÜGER ist verständlich, mit detaillierten Hilfsmitteln untermauert und betrachtet den gesamten Prozess der Veränderung. Durch die Einordnung im 3W-Modell werden zudem wichtige „Begleitfaktoren“ für die Veränderung bereitgestellt. Die einzelnen Phasen des Wandels sind nicht immer trennscharf. Gerade die Phasen Mobilisierung und Umsetzung sind nicht überschneidungsfrei. So kann zum Schaffen der Wandlungsfähigkeit wiederum die Durchführung von prioritären Vorhaben notwendig sein, etwa um überhaupt Inhalte für notwendige Befähigungen zu erarbeiten. Trotz der ausführlichen Beschreibung fehlen jedoch zum Teil an wesentlichen Stellen Hilfsmittel. So wird beispielsweise nicht ersichtlich, wie Wandlungsziele oder Maßnahmen erarbeitet werden können. Zudem werden fachliche Aspekte der Veränderung nicht betrachtet, z. B. Abhängigkeiten zwischen SE und MBSE.

3.3.1.4 Der MOTION Ansatz nach SCHUH

Der MOTION-Ansatz hat den Anspruch, die Vorteile von top-down und bottom-up orientierten Ansätzen des Change Managements (vgl. Kapitel 2.4.3) in einem Ansatz zu integrieren, um Brüche zwischen Analyse, Gestaltung und Transformation zu vermeiden. Hierzu liefert MOTION einen Werkzeugkasten mit aufeinander abgestimmten Methoden und ein Prozessmodell zur transparenten Ablage und Strukturierung der in den verschiedenen Phasen der Veränderung notwendigen Informationen. Die einzelnen Tätigkeiten

werden dabei gemäß dem St. Galler General Management Navigator den vier Phasen Initiierung, Positionierung, Wertschöpfung und Veränderung zugeordnet. Bei MOTION können Positionierung und Wertschöpfung, wie in Bild 3-11 dargestellt, als parallele Aufgaben betrachtet werden, wobei die Positionierung die Handlungsebene der Führung betrifft und die Wertschöpfung die Handlungsebene der Prozesse. Für Positionierung und Wertschöpfung werden verschiedene Hilfsmittel bereitgestellt, z. B. ein Vorgehen für Strategieaudits oder zur Analyse von strategischen Erfolgspositionen [Sch06].

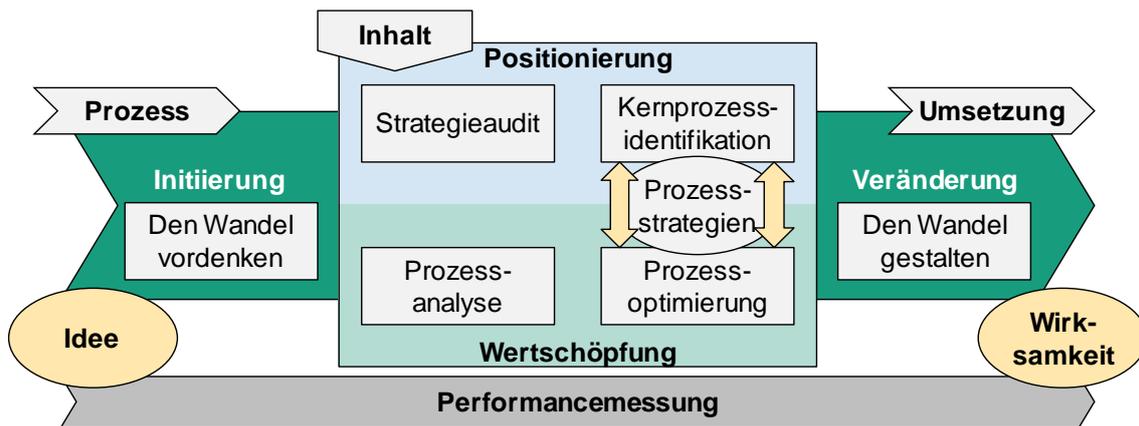


Bild 3-11: Methode MOTION nach SCHUH [Sch06]

Bewertung: Der MOTION Ansatz integriert fachliche Aspekte der Prozessoptimierung mit einem vierstufigen Change-Vorgehen und konkreten Methoden. Hierdurch liefert er ein praktisch anwendbares Vorgehen mit vielfältiger Unterstützung bei der Planung und Gestaltung von prozessbezogenen Veränderungen. Dabei bezieht der Ansatz sowohl das Management als auch die operative Prozessebene ein. Trotz zusätzlicher Hilfsmittel, auch im Themenbereich Change Management, ist der Ansatz allerdings einseitig auf Prozesse ausgelegt. Veränderungen an der Kultur, Denkweisen, Infrastruktur oder ähnlichem werden, ebenso wie SE-spezifische Aspekte, nicht oder nur am Rande betrachtet.

3.3.1.5 Change-Rollen nach CONNER

CONNER beschreibt vier kritische Rollen für Change Prozesse: Sponsoren, Agenten, Ziele und Advokaten. **Sponsoren** sind Individuen oder Gruppen mit der Macht, Veränderungen zu legitimieren und einzufordern. Sie bewerten Chancen und Risiken, die mit einer Veränderung einhergehen und entscheiden über die Umsetzung der Veränderung. Zudem sind sie verantwortlich dafür, die nötigen Rahmenbedingungen bzw. die nötige Umgebung für erfolgreiche Veränderungen zu schaffen. **Agenten** sind für die Erarbeitung und Durchführung der Veränderung notwendig. Sie analysieren die Ausgangslage, entwickeln den Plan für die Veränderung und lösen Probleme entlang des Wegs. Hierfür benötigen sie sowohl Kompetenzen im Change Management als auch fachliche Kompetenz. Die **Ziele** sind die Personen oder Gruppen, die von der Veränderung betroffen sind. Für eine erfolgreiche Veränderung müssen die Ziele verstehen, warum die Veränderung notwen-

dig ist, erkennen, dass die Veränderung auf jeden Fall kommen wird und aktiv im Veränderungsprozess mitwirken. **Advokaten** sind diejenigen, die eine Veränderung herbeiführen wollen, im Gegensatz zu Sponsoren jedoch nicht die notwendige Macht haben, diese Veränderung auch einzuführen. Im Rahmen eines Veränderungsprojekts kann eine Person auch mehrere Rollen einnehmen, z. B. ein Abteilungsleiter, der gegenüber dem Management als Advokat auftritt und gegenüber seinen Mitarbeitern als Sponsor. Neben den Rollen stellt CONNOR auch mögliche Beziehungen zwischen den Rollen dar [Con06].

Bewertung: Die Rollen sind allgemeingültig für Veränderungsprojekte und wichtig für die Durchführung solcher Projekte. Durch die transparente Darstellung der Rollen ermöglicht CONNOR die bewusste Planung der Rollen in konkreten Veränderungsprojekten. Die vorgestellten Strukturen sind generisch und bieten daher eine geringere Hilfestellung.

3.3.2 Ansätze zur Einführung von Systems Engineering

Nach den generischen Ansätzen des Change Managements werden im Folgenden verfügbare Ansätze zur Einführung von Systems Engineering beschrieben. Diese Ansätze haben den Anspruch, die Einführung von SE ganz oder teilweise zu unterstützen. Vorgestellt werden die Ansätze nach GERHARDT, ALT, SCHIERBAUM, UNITY und der Special interest group Systems Engineering Implementation der INCOSE Niederlande.

3.3.2.1 PLM-Basierte Einführung von SE nach GERHARDT

GERHARDT stellt ein Framework zur Einführung des Systems Engineerings auf Basis von PLM/ALM-Lösungen vor. Das Framework ist, wie in Bild 3-12 dargestellt, in zwei Phasen unterteilt und umfasst sechs Schritte. Ausgangspunkt ist die Definition des Betrachtungsumfangs (**Scope**). Hierzu gilt es zum einen relevante Prozesse, Organisationseinheiten und Applikationen zu identifizieren. Zum anderen gilt es, die relevanten Zielsetzungen zu ermitteln. Im nächsten Schritt wird die **Ist-Situation** hinsichtlich der PLM/ALM-Bebauung untersucht. Zu diesem Zweck wird ein eigenes Vorgehensmodell zur Evaluierung von PLM/ALM-Architekturen bereitgestellt. Im dritten Schritt erfolgt schließlich die Definition einer **Vision** und Zielarchitektur. Damit ist die erste Phase des Vorgehens abgeschlossen. In der zweiten Phase wird der Weg vom Ist- zum Ziel-Zustand **geplant**, **umgesetzt** und schließlich **etabliert**. Der Fokus liegt hierbei auf IT-Infrastrukturen und dem nötigen Projekt- und Risikomanagement [Ger16].

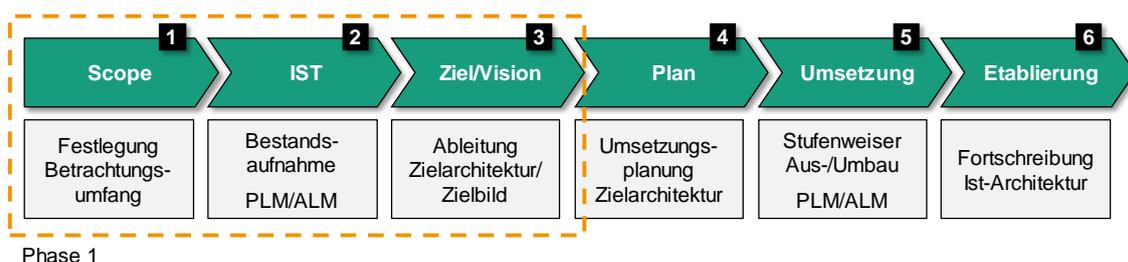


Bild 3-12: Framework zur Einführung von SE nach GERHARDT [GER16]

Bewertung: Das Vorgehen nach GERHARDT legt großen Wert auf die Infrastruktur und liefert einen Beitrag, um die Zusammenhänge zwischen SE und PLM/ALM zu betrachten. Nichtsdestoweniger bleibt die Betrachtung der Einführung einseitig auf die IT-Infrastruktur beschränkt. Änderungen an Denkweisen, Aufbauorganisation, etc. werden nicht beachtet. Zudem wird lediglich der zweite Schritt „Bestandsaufnahme“ durch zusätzliche Hilfsmittel hinterlegt. Die restlichen Schritte muss ein Anwender ohne zusätzliche Unterstützung durchführen. Auch das nötige Change Management wird nicht explizit betrachtet. Der Ansatz eignet sich demnach nicht zur ganzheitlichen Einführung von SE.

3.3.2.2 Pilotbasierte Einführung von SE nach ALT

ALT beschreibt zum einen Faktoren, die es bei der SE-Einführung zu beachten gilt und zum anderen einen Ablauf zur Durchführung von Pilotprojekten zur SE-Einführung. Das **Vorgehen** beginnt mit dem Einholen der nötigen Managementunterstützung. Im Anschluss erfolgt die **Planung** des Pilotprojekts, wobei ein geeignetes Projekt gewählt und eine Entscheidung über die zu nutzende Werkzeugunterstützung gefällt wird. Schritt drei und vier sind die **Rollenbesetzung der Mitarbeiter** und **Schulungen**. Dabei gilt es, die Mitarbeiter nach Qualifikation und Motivation auszuwählen und Verantwortungen zu definieren bevor die eigentlichen Schulungen durchgeführt werden. Je nach Bedarf und Verfügbarkeit von eigenen Trainern können die Schulungen dabei auch extern durchgeführt werden. Hauptteil des Vorgehens ist die **Durchführung** des Pilotprojekts, wobei hierzu auch die Implementierung der Werkzeugkette zählt. Ergebnis ist eine überprüfte Praxistauglichkeit des gewählten Ansatzes. Abschließend wird das **Pilotprojekt analysiert**, um Möglichkeiten zur Verbesserung abzuleiten [Alt12].

Die von ALT beschriebenen Faktoren zur SE-Einführung beschränken sich nicht auf Pilotprojekte, sondern gelten allgemeingültig. Wesentlich für die Einführung sind demnach die Managementunterstützung, die Auswahl geeigneter Mitarbeiter, Schulungen, geeignete Werkzeuge und auch Praxiserfahrung [Alt12].

Bewertung: Der Ansatz bietet Hinweise auf wichtige Faktoren zur SE-Einführung und ein einfaches Vorgehensmodell zur Pilotdurchführung. Insbesondere die Planung dieser unterstützt der Ansatz gut. Allerdings hat der Ansatz auch Schwächen: Es bleibt unklar, wie ein einzelnes Pilotprojekt in ein übergreifendes Einführungsprojekt einzubinden ist, insbesondere aufgrund der pilotabhängigen Implementierung von Werkzeugketten. Am Ende eines Piloten steht zudem keine abgeschlossene SE-Einführung, sondern erst die prinzipielle Bestätigung der Praxistauglichkeit für die im Piloten betrachteten Umfänge. Der Ansatz liefert dementsprechend lediglich eine Teillösung. Zudem ist das Vorgehen recht allgemeingültig. Konkrete Methoden zur Vertiefung sind nicht verfügbar.

3.3.2.3 Systematik zur Ableitung bedarfsgerechter SE-Leitfäden

Die Systematik zur Ableitung bedarfsgerechter SE-Leitfäden zielt auf die Unterstützung der Einführung von SE und eine Anwendung für den Maschinen- und Anlagenbau ab. SCHIERBAUM stellt zu diesem Zweck ein Vorgehensmodell, eine Übersicht über Nutzenpotentiale und weitere Hilfsmittel bereit. Die, auf Basis von 40 Transferprojekten identifizierten, **Nutzenpotentiale** für den Maschinen- und Anlagenbau sind: modellbasierte Produktinnovation, transparente Anforderungsdokumentation, fachdisziplinübergreifende Produktkonzipierung und frühzeitige Analysen. Der Mehrwert hinter diesen Potentialen wird jeweils mithilfe eines ausführlichen Steckbriefes näher beschrieben. Als Hilfsmittel werden beispielsweise Prozess- und Methodenlandkarten bereitgestellt. Das **Vorgehen** ist in Bild 3-13 dargestellt.

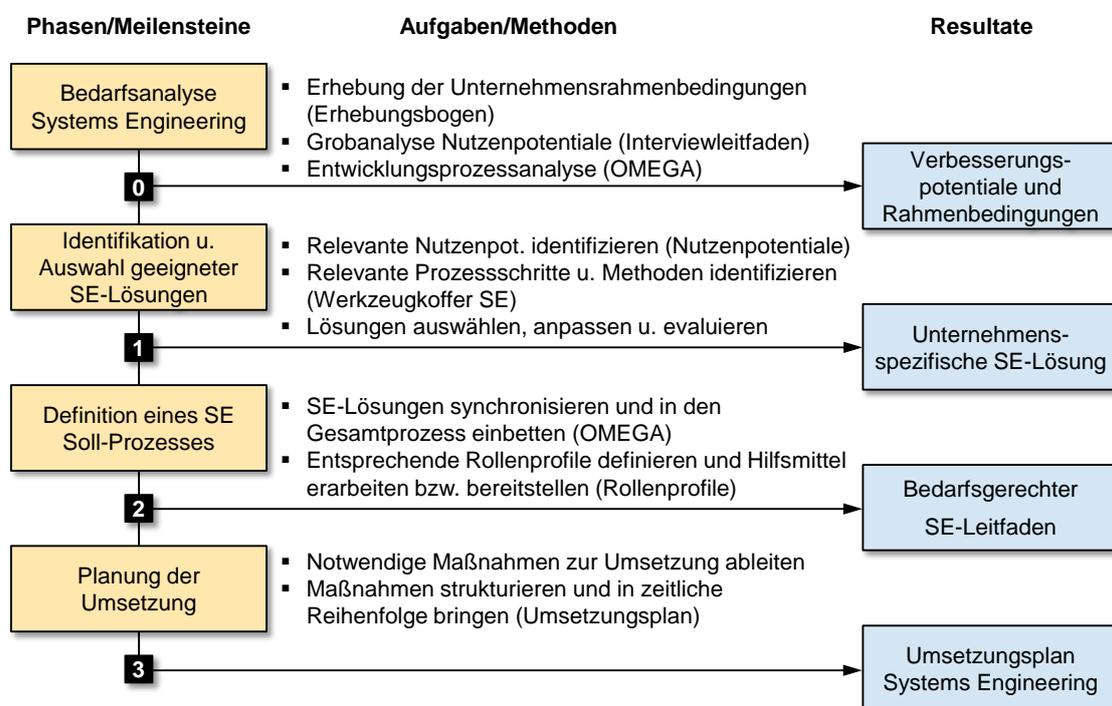


Bild 3-13: Vorgehen zur Ableitung bedarfsgerechter SE-Leitfäden nach SCHIERBAUM [SCH19]

Die einzelnen Hilfsmittel werden entlang der Phasen des Vorgehensmodells verortet. Ausgangspunkt ist die **Bedarfsanalyse** für Systems Engineering, die durch einen Erhebungsbogen, einen Interviewleitfaden und eine Prozessanalyse nach OMEGA unterstützt wird. Im nächsten Schritt werden **geeignete SE-Lösungen identifiziert und ausgewählt**. Dabei unterstützen die bereitgestellten Nutzenpotentiale sowie der SE-Werkzeugkoffer. Die Lösungen aus dem Werkzeugkoffer werden im zweiten Schritt an die Bedarfe des Unternehmens angepasst und evaluiert. Im dritten Schritt erfolgt die **Definition eines SE Soll-Prozesses**. Hierzu werden die verschiedenen gewählten Lösungen aus Schritt 2 entlang des Prozesses synchronisiert und geeignete Rollen definiert. Im letzten Schritt erfolgt

die **Planung der Umsetzung**. Hierzu werden notwendige Maßnahmen abgeleitet und mithilfe eines Umsetzungsplans in eine zeitliche Reihenfolge gebracht [SCH19].

Bewertung: Die Systematik liefert mit einem Vorgehen und darauf ausgerichteten Hilfsmitteln eine umfassende Unterstützung für die SE-Planung und Einführung in kleinen und mittelständischen Unternehmen des Maschinen- und Anlagenbaus. Die beschriebenen Nutzenpotentiale sind relativ generisch. Für den Zweck der vorliegenden Arbeit ist das Vorgehen jedoch nicht geeignet: Der Ansatz adressiert die spezifischen Probleme von großen Unternehmen nicht. Model-Based Systems Engineering wird nicht betrachtet, ebenso fehlt die explizite Berücksichtigung des Change Managements. Organisatorische Änderungen werden über die Rollen adressiert, jedoch werden Unterstützungsrollen dabei nicht betrachtet.

3.3.2.4 Pragmatisches Reifegradmodell zur SE-Einführung

Das pragmatische Reifegradmodell zur SE-Einführung basiert auf den Normen ISO 29110 und ISO 15288 sowie den Reifegradmodellen CMMI und seinem Vorgänger SE-CM. Das Reifegradmodell ist in ein Vorgehen mit drei Phasen eingebettet. Die erste Phase behandelt die **SE-Strategie**. Hierzu wird die Ausgangssituation ermittelt, die strategische Positionierung bezüglich SE definiert und strategische Maßnahmen werden erarbeitet. Hieraus ergeben sich die Zielvorgaben für das weitere Vorgehen. In der zweiten Phase erfolgt die Planung der Zielreifegrade der fachlichen Aspekte, unterstützt durch das **Reifegradmodell**. Dieses bezieht sich auf Prozesse, die auf Basis der oben genannten Standards und Reifegradmodellen abgeleitet wurden. Neben den Prozessen im Reifegradmodell sollen zudem auch die Kategorien Organisation und Kompetenzen betrachtet werden, diese werden jedoch nicht durch das Reifegradmodell unterstützt. Das Vorgehen schlägt vor, die Zielreifegrade auf Grundlage des tatsächlichen Bedarfs zu definieren. In der dritten Phase (**Projekt-Befähigung**) erfolgt die eigentliche Umsetzung. Hierzu sollen Einführungsstrategie- und -Roadmap geplant, der Wandel begleitet und die Fortschritte gemessen werden. Hierzu werden jedoch keine Hilfsmittel bereitgestellt [SES+16].

Bewertung: Der Ansatz verspricht ein pragmatisch anwendbares Reifegradmodell, welches z. B. im Rahmen von Workshops genutzt werden kann, um die SE-Einführung zu planen. Das übergeordnete Vorgehen bleibt dabei sehr generisch. Model-Based Systems Engineering wird nicht explizit betrachtet, Aspekte des Change Managements werden nur teilweise und am Rande betrachtet. Der Ansatz bietet einen guten Überblick über Aspekte, die für die Einführung wichtig sind – unterstützt deren Umsetzung jedoch kaum bzw. verweist auf den Einsatz von Beratern. Nach der Definition des strategischen Zielbildes fehlen Hilfsmittel oder Verweise auf verfügbare Unterstützung. Besonders deutlich ist dies für die Veränderungen an der Organisation, der Infrastruktur und Kompetenzen.

3.3.2.5 Implementing SE: A Step-By-Step Guide

DE LANDTSHEER et al. haben im Rahmen der „Special Interest Group Systems Engineering Implementation“ der Niederländischen INCOSE in enger Zusammenarbeit mit Siemens eine grobe Richtlinie zur Einführung von Systems Engineering erarbeitet. Kern der Richtlinie ist ein Vorgehen mit acht Schritten, wie in Bild 3-14 dargestellt. Die ersten vier Schritte sollen dabei helfen, die konkreten Aufgaben für das Einführungsprojekt näher zu klären. Im fünften Schritt wird das eigentliche Einführungsprogramm geplant. Schritt sechs und sieben evaluieren die Ideen mit Hilfe von Pilotprojekten. Ist das Ergebnis der Evaluation positiv, erfolgt die eigentliche Einführung im Rahmen des achten Schritts. Das Vorgehen soll jedoch nicht allgemeingültig für alle Einführungsprojekte gelten, sondern muss unternehmensspezifisch angepasst werden [LAJ+06].

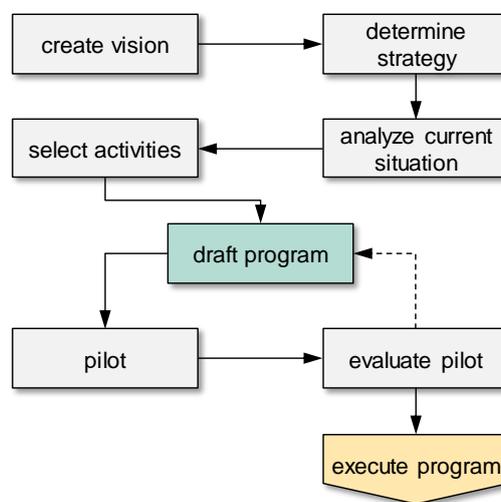


Bild 3-14: Vorgehen zur SE-Einführung, nach DE LANDTSHEER et al. [LAJ+06]

Für jeden Schritt sind pragmatisch relevante Tätigkeiten beschrieben, z. B. die Durchführung von Meetings zur Gestaltung der Vision. Diese Tätigkeiten sind zum Teil durch Stichpunkte verfeinert und bieten so eine erste Übersicht über relevante Fragestellungen. Konkrete Hilfsmittel für die einzelnen Phasen werden jedoch nicht vorgestellt. Der Leitfaden wurde bei Siemens angewendet, ein kurzer Erfahrungsbericht für jede Phase ist Teil der Dokumentation [LAJ+06].

Bewertung: Der Ansatz bietet eine gute Übersicht über relevante Aspekte der SE-Einführung und integriert Pilotprojekte (vgl. ALT) gut in das übergeordnete Vorgehen zur SE-Einführung. Zudem wirft der Ansatz wichtige Fragestellungen auf, die im Rahmen der einzelnen Schritte von Bedeutung sind. Konkrete Hilfsmittel, die bei der Berücksichtigung dieser Fragestellungen helfen, fehlen jedoch. Zudem betrachtet der Ansatz nur das klassische Systems Engineering, Aspekte des MBSE fehlen. Die Bedeutung von Change Management wird von den Autoren zwar hervorgehoben, konkrete Hilfsmittel zur Integration des CM fehlen jedoch.

3.3.3 Ansätze zur organisationalen Verankerung

Das Verankern von Veränderungen in der Organisation ist von zentraler Bedeutung für den langfristigen Erfolg von Veränderungen. Einige im Kontext der Verankerung von Geschäftsmodellen entwickelte Ansätze werden im Folgenden vorgestellt.

3.3.3.1 Ansatz der Ambidextrie nach O'REILLY und TUSHMAN

O'REILLY und TUSHMAN schlagen einen Ansatz vor, der Unternehmen helfen soll, ihr Überleben am Markt zu sichern. Zu diesem Zweck stellen sie einen Ansatz bereit, der sowohl bestehende (Exploitation) als auch neue (Exploration) Geschäftsmodelle berücksichtigt. Die wesentlichen Entscheidungsfaktoren hierfür sind die strategische Relevanz und der operationale Hebeleffekt. Dieser gibt an, wie groß die Synergiepotentiale zwischen bestehenden und neuen Ansätzen sind. Hieraus ergeben sich vier mögliche Stoßrichtungen: Ein neues Geschäftsmodell kann entweder über einen **Spin-off** außerhalb der bestehenden Organisation umgesetzt werden oder im Unternehmen bleiben. Bei einer hohen strategischen Relevanz oder einem hohen operationalen Hebeleffekt ist eine Integration in eine **bestehende Geschäftseinheit** oder in einer eigens hierfür gegründeten **unabhängigen Geschäftseinheit** möglich. Sind sowohl der operationale Hebeleffekt als auch die strategische Relevanz hoch, wird eine **ambidextre Organisation** empfohlen, die zwar Exploration und Exploitation trennt, aber gleichzeitig die gezielte Integration synergetischer Teilbereiche anstrebt [OT07].

Bewertung: Der Ansatz zielt auf die Integration von Geschäftsmodellen und ist somit nur bedingt auf SE übertragbar. Insbesondere die Option der Auslagerung in ein Spin-Off ist für die Integration des SE von höchstens theoretischer Relevanz. Die Möglichkeiten der Gestaltung von unabhängigen Geschäftsbereichen bzw. der Integration in bestehende Geschäftseinheiten lässt sich jedoch auf die SE-Einführung übertragen.

3.3.3.2 Strategische Umorientierung nach BADEN-FULLER und VOLBERDA

BADEN-FULLER und VOLBERDA wollen mit ihrem Ansatz Unternehmen bei der strategischen Umorientierung als Reaktion auf externe, technologieinduzierte Veränderungen unterstützen. Als Einflussgrößen nutzt der Ansatz zum einen die **Wettbewerbsintensität**, welche gleichgesetzt wird mit der Dringlichkeit der Veränderung. Die zweite Einflussgröße ist die **Technologienähe**. Hier liegt die Annahme zugrunde, dass eine hohe Technologienähe auch hohe Synergieeffekte mit bestehenden Kompetenzen ermöglicht, während eine geringe Technologienähe hohe Aufwände zur Beherrschung der Technologie nach sich zieht. Abhängig von der Ausprägung der beiden Faktoren wird die Nutzung von einer von vier Normstrategien empfohlen. Ein **Spin-off** reduziert das Risiko bei geringem Veränderungsdruck und hoher vorhandener Kompetenz, während eine **separate Geschäftseinheit** besser zu steuern ist und eine Reintegration zu einem späteren Zeitpunkt vereinfacht wird. Bei hohem Wettbewerbsdruck und geringer Technologienähe wird die

Umsetzung in einer **bestehenden Geschäftseinheit** empfohlen. Bei hoher Technologie-nähe können durch ein **Joint Venture** schnellere Erfolge erzielt werden.

Bewertung: Der Ansatz legt hohen Wert auf die Risikominimierung durch die Veränderung und behandelt technologieinduzierte Veränderungen von Geschäftsmodellen. Die Ausgangsbedingungen sind hier jedoch andere als bei der SE-Einführung, die z. T. durch gesetzliche Rahmenbedingungen oder eine zu hohe Komplexität zwingend erforderlich ist und keine Separation der Geschäftseinheiten erlaubt.

3.4 Organisationskonzepte für das Systems Engineering

Im Folgenden werden verschiedene Ansätze im Kontext der Aufbauorganisation und des Systems Engineering betrachtet. Dazu werden zunächst **typische Formen von Organisationsstrukturen** vorgestellt. Die Ausarbeitung beschränkt sich auf Strukturen, die in großen Unternehmen etabliert und umsetzbar sind. Unkonventionelle Konzepte, wie etwa völlige Gleichberechtigung ohne Führungsverantwortliche, werden zwar zum Teil in Start-ups und kleinen Unternehmen eingesetzt, sind für die betrachteten Branchen und die Größe der Unternehmen nicht relevant. Im Anschluss werden vorhandene **Rollenbeschreibungen** im Kontext des Systems Engineerings erläutert. Die Arbeit von PARNELL et al. zum Systems Engineer in der Entwicklungsorganisation wird nicht weiter betrachtet, da sie lediglich Schnittstellen zwischen Systems Engineer und Programmmanager beschreibt, die Rollen im Kontext des SE jedoch nicht weiter detailliert.

3.4.1 Formen von Organisationsstrukturen

SCHLICK, BRUDER und LUCZAK fassen etablierte Formen der Aufbauorganisation aus unterschiedlichen Quellen zusammen. Allen Strukturen ist gemeinsam, dass die einzelnen Stellen in der Aufbauorganisation miteinander in Beziehung stehen. Top-Down wird dies durch den „Anordnungsweg“ deutlich, über den ein Vorgesetzter seinen Mitarbeitern Anweisungen gibt. Auf dem umgekehrten Weg ergibt sich der „Melde- bzw. Mitteilungsweg“. Hieraus ergibt sich typischerweise die **Primärorganisation**, die zur effektiven Bewältigung des Kerngeschäfts geeignet ist. Ergänzend hierzu kann eine **Sekundärorganisation** kommen, z. B. eine Projektorganisation. Für die Struktur der Organisation ergeben sich zwei prinzipielle Ansätze: **Funktionale Strukturen** gliedern das Unternehmen nach Funktionen (z. B. Hardwareentwicklung, Softwareentwicklung, etc.). **Objektorientierte Organisationen** fassen hingegen diejenigen Aufgaben zusammen, die für ein bestimmtes Objekt relevant sind, z. B. für Produktarten. Die typischen Grundkonfigurationen werden im Folgenden vorgestellt [SBL10].

Eine **Einlinienorganisation** liegt vor, wenn jede Stelle und jede Organisationseinheit jeweils exakt eine direkt übergeordnete Leitungsstelle hat (vgl. Bild 3-15). Auf diesem Weg ist sichergestellt, dass alle Aufgaben einer Stelle von nur einer Quelle ausgehen. Nachteil

sind die langen Kommunikations- und Entscheidungs- bzw. Abstimmungsprozesse, die mit dieser Struktur verbunden sein können [SBL10].

Im Gegensatz zur Einlinienorganisation liegt bei der **Mehrlinienorganisation** keine eindeutige übergeordnete Instanz vor. Stattdessen wird zwischen fachlicher und disziplinarischer Führung unterschieden, wobei jede Stelle eine disziplinarisch übergeordnete Leitungsstelle hat und mehrere fachliche (vgl. Bild 3-15). Vorteil dieser Struktur ist die stärkere fachliche Fokussierung der jeweiligen fachlichen Vorgesetzten. Dem gegenüber ergeben sich jedoch große Herausforderungen, etwa bei widersprüchlichen Anweisungen unterschiedlicher Vorgesetzter, bei der Priorisierung von Themen oder bei der Identifikation der Verantwortlichen für schlechte Arbeitsergebnisse [SBL10].

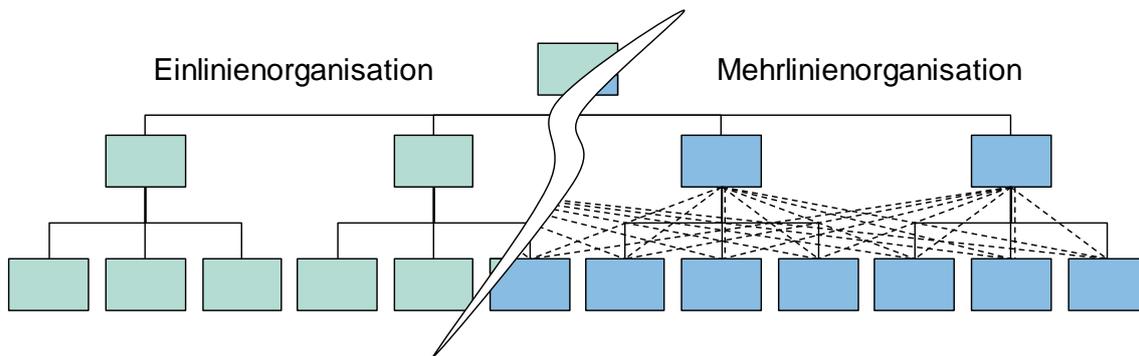


Bild 3-15: Ein- und Mehrlinienorganisation, nach [SBL10]

Die **Matrixorganisation** ist eine Form der Mehrlinienorganisation, bei der exakt zwei Gliederungskriterien greifen. Typisch ist die Zuordnung einer Stelle zu funktionalen Stelle und einer Produktgruppe. Ersterer übernimmt dabei die disziplinarische Verantwortung und die Kapazitätsverwaltung, die Produktverantwortlichen haben jeweils nur ein auf ihr Produkt bezogenes Weisungsrecht. Wenn eine Matrixorganisation nur temporär für ein Projekt vorliegt, kann sie auch als Projektorganisation genutzt werden [SBL10].

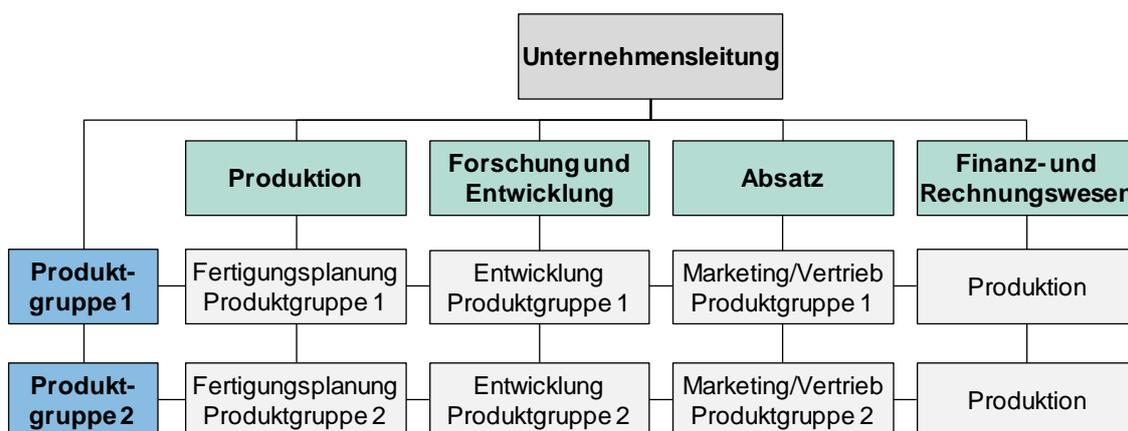


Bild 3-16: Matrixorganisation, nach [SBL10]

Eine **Stab-Linien-Organisation** erweitert eine übliche Ein- bzw. Mehrlinienorganisation um Stäbe. Diese sind einzelnen Leitungsstellen in der Linie zugeordnet und unterstützen

diese in einem bestimmten Themenfeld. Die Stäbe haben selbst allerdings keine Entscheidungsbefugnis. Durch die Nutzung von Stäben kann die starre Ein- oder Mehrlinienorganisation etwas flexibler gestaltet werden, da eine Stabsstelle mehrere Linienstellen entlasten kann. Ein Beispiel für eine Stab-Linien-Organisation ist in Bild 3-17 dargestellt.

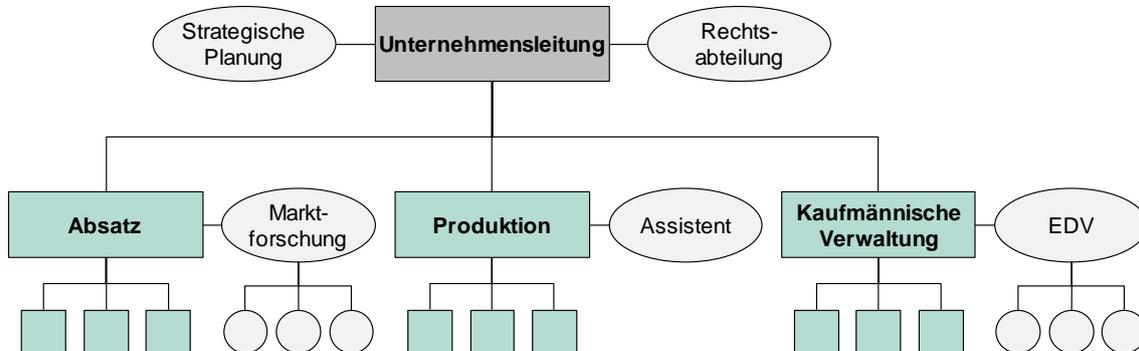


Bild 3-17: Stab-Linien-Organisation, nach [SBL10]

Bewertung: Die typischen Organisationsstrukturen sind weit verbreitet, wodurch eine Einbindung des SE von hoher Bedeutung ist. Die Unterscheidung von funktionaler und objektbezogener Gliederung kann für SE von hoher Bedeutung sein, eine Änderung der übergeordneten Gliederung stellt jedoch auch eine besondere Herausforderung für Unternehmen dar. Zur Einbindung des SE kann nicht auf eine einzelne dieser Strukturen zurückgegriffen werden, vielmehr gilt es, abhängig von den zu erfüllenden Aufgaben zu prüfen, welche Struktur angemessen ist.

3.4.2 SE-Rollen nach SHEARD

SHEARD beschreibt 12 unterschiedliche Systems Engineering Rollen, die ein Systems Engineer einnehmen kann. Diese wurden auf Basis von Literatur und Stellenausschreibungen identifiziert. Inhaltlich sind 11 der beschriebenen Rollen relevant, die zwölfte Rolle ist lediglich ein Sammelbecken für Aufgaben aus Stellenausschreibungen, die nicht anderweitig einsortiert werden konnten. Die beschriebenen Rollen sind: Requirements Owner, System Designer, System Analyst, Verification & Validation, Logistics & Operations, Glue, Customer Interface, Technical Manager, Information Manager, Process Engineer und Coordinator. Im Folgenden wird exemplarisch die Rolle „Glue“ näher beschrieben: Sie ist verantwortlich für die Integration der unterschiedlichen Teilsysteme und alle internen Interfaces zwischen diesen Teilsystemen. Zudem tritt die Rolle als proaktiver „Troubleshooter“ auf, um sicherzustellen, dass keine ungewünschten Störungen zwischen den Teilsystemen auftreten. Besonders ist die Rolle des **Process Engineers**, da sie als einzige Rolle nicht im Projekt, sondern außerhalb auftritt. Sie ist verantwortlich für die Dokumentation und Verbesserung des Systems Engineering Prozesses [She96].

Bewertung: Die Rollenbeschreibungen nach SHEARD sind ausführlich und im Kontext der Projektbearbeitung weitgehend vollständig. Aspekte des MBSE werden von Sheard nicht explizit aufgegriffen, so ist beispielsweise unklar, ob ein System Designer auch für

die Bedienung eines Werkzeugs zur Architekturgestaltung verantwortlich ist oder ob dies auch eine andere Rolle übernehmen kann. Trotz des Vorhandenseins des Process Engineers fehlt jedoch eine genaue Betrachtung von unterstützenden Rollen, die außerhalb konkreter Projekte agieren, beispielsweise für Support oder Infrastrukturbereitstellung.

3.4.3 SE-Teams nach FRIEDENTHAL

FRIEDENTHAL schlägt statt einzelner Rollen mehrere Teams mit voneinander abgegrenzten Aufgaben vor (vgl. Bild 3-18). Über die Teams sollen die vielfältigen Anforderungen an den Systems Engineer besser verteilt werden. Das **Systems Engineering Management Team** ist dabei für die Planungs- und Steuerungsaktivitäten im Rahmen des Projekts verantwortlich. Das **Requirements Team** verantwortet die Identifikation, Analyse und Dokumentation der Anforderungen. Das **Architecture Team** erstellt auf Basis der Anforderungen die relevanten Architekturen. Das **System Analysis Team** wiederum analysiert kontinuierlich die (Zwischen-)Ergebnisse mit dem Ziel, mehr Wissen über Performance, Verlässlichkeit, Kosten, etc. zu generieren. Das **Integration and Test Team** plant und führt Tests durch und verantwortet die abschließende Integration [FMS14].

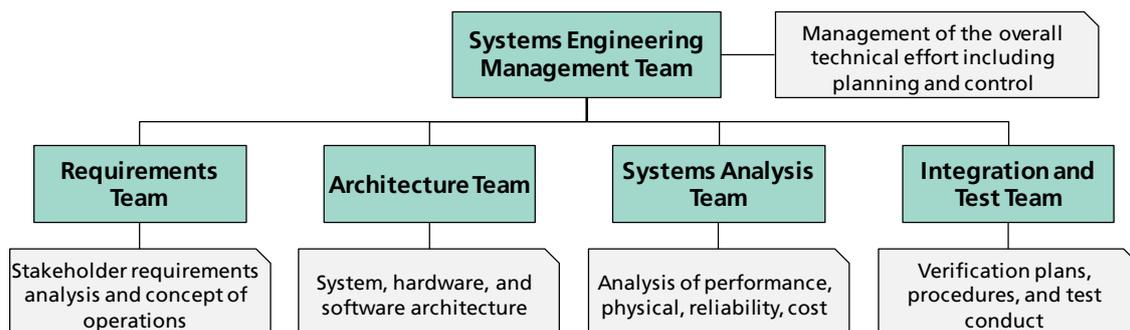


Bild 3-18: SE Organisation nach Friedenthal [FMS14]

Bewertung: Die von FRIEDENTHAL vorgeschlagenen Rollen geben einen guten Überblick über wesentliche Tätigkeiten, die im Rahmen des Systems Engineerings zu erfüllen sind. Es bleibt dabei hinsichtlich des MBSE relativ generisch. So ist beispielsweise unklar, wer für die Wechselwirkungen zwischen den unterschiedlichen Artefakten der Teams verantwortlich ist. Zudem fehlt, wie bei SHEARD, die Betrachtung von unterstützenden Rollen.

3.5 Handlungsbedarf

Im Folgenden werden die im Stand der Technik vorgestellten Ansätze mit den in Kapitel 2.6 aufgestellten Anforderungen an ein *Rahmenwerk zur Einführung von Systems Engineering und Model-Based Systems Engineering* abgeglichen. Bild 3-19 stellt das Ergebnis dieses Abgleiches zusammenfassend dar.

Bewertung: Der Ansatz hat die Anforderungen.. ● voll erfüllt ◐ teilweise erfüllt ○ nicht erfüllt	Anforderungen									
	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10
Erklärungsmodell										
Erklärungsmodell Engineering										
Produktgenerationenentwicklung nach ALBERS	◐	○	○	○	○	○	○	◐	●	●
The Open Group Architecture Framework	◐	○	○	○	○	○	○	○	●	●
OMG SPEM 2.0	◐	○	○	○	○	○	○	○	●	●
An extended Meta-model for workflow resource model	◐	○	○	○	○	○	○	○	◐	●
ISO 42010	◐	○	○	○	○	○	○	◐	◐	●
ZOPH-Modell nach NEGELE, FRICKE und IGENBERGS	●	○	○	○	○	○	○	○	◐	●
Reifegradmodelle										
CMMI / CMMI-DEV	○	○	○	●	○	○	●	○	●	●
Reifegrade nach BALÁZOVÁ	○	○	○	●	○	○	●	○	◐	●
Reifegradmodelle nach CHRISTIANSEN	○	○	○	●	○	○	◐	○	◐	●
MBSE Maturity Model nach VOGELSANG	◐	○	◐	●	○	○	◐	○	◐	●
Ansätze zur Einführung von Veränderungen										
Change-Management										
Drei Phasen Modell nach LEWIN					○	●	◐	○	●	●
Ansatz nach KOTTER					○	●	◐	○	●	●
Fünf Phasen Modell nach KRÜGER					○	●	●	○	●	●
MOTION Modell nach SCHUH					○	●	●	○	●	●
Rollen im Change Prozess nach CONNER					○	●	○	○	●	●
Einführung von SE										
PLM-Basierte Einführung von SE nach GERHARDT	◐	○	◐	●	○	◐	●	○	◐	●
Pilot-Basierte Einführung von SE nach ALT	○	○	○	◐	○	○	◐	○	◐	●
Systematik zur Ableitung bedarfsgerechter SE-Leitfäden im Maschinenbau	○	◐	○	●	○	◐	●	○	○	●
Pragmatisches Reifegradmodell zur SE-Einführung	◐	◐	○	●	○	◐	●	○	◐	●
Implementing SE: A Step-By-Step Guide	○	◐	○	●	○	◐	●	○	◐	●
Ansätze zur organisationalen Verankerung										
Ansatz der Ambidextrie nach O'REILLY und TUSHMAN	○	○	○	○	●	○	◐	◐	◐	●
Strategische Erneuerung nach BADEN-FULLER und VOLBERDA	○	○	○	○	●	○	◐	◐	◐	●
Unterstützung der Gestaltung										
Organisationskonzepte für das Systems Engineering										
Grundlegende Formen von Aufbauorganisationen	○	○	○	○	○	○	○	○	●	◐
SE-Rollen nach SHEARD	◐	◐	○	○	○	○	○	○	◐	●
SE-Teams nach FRIEDENTHAL	◐	◐	○	○	○	○	○	○	◐	●

Bild 3-19: Bewertung des untersuchten Stands der Technik anhand der Anforderungen

A1) Verständliche Beschreibung des Betrachtungsgegenstands: Keines der vorgestellten Erklärungsmodelle bildet die relevanten Aspekte der Produktentwicklung anschaulich und mit ihren Abhängigkeiten ab. TOGAF und SPEM beschreiben ihre Inhalte sehr detailliert und unübersichtlich. Beide Modelle sind mit Blick auf die Produktentwicklung zudem unvollständig, SPEM vernachlässigt z. B. die organisatorischen Aspekte

der Produktentwicklung. ISO 15288 ist zwar übersichtlich, behandelt jedoch nur den Teilaspekt der Prozesse, selbiges gilt für XIAOs Metamodell im Kontext von Workflows. Das ZOPH-Modell bietet einen guten Rahmen, jedoch fehlen auch hier Details. Gemeinsam decken die Modelle wesentliche Aspekte der Produktentwicklung ab, eine Zusammenführung ist aufgrund der unterschiedlichen Detailgrade aber nicht trivial.

A2) Zielsetzungen für SE und MBSE beschreiben: Mögliche Mehrwerte oder Zielsetzungen einer Einführung von SE und MBSE werden in den beschriebenen SE-Einführungsansätzen am Rande betrachtet, ebenso in dem nicht explizit vorgestelltem INCOSE Systems Engineering Handbuch. SCHIERBAUM beschreibt vier mögliche Mehrwerte für KMU, diese sind jedoch aus der Perspektive großer Unternehmen unvollständig.

A3) Ganzheitliche Betrachtung von SE und MBSE: Die beschriebenen SE-Einführungsansätze, Rollen und Reifegradmodelle betrachten im Wesentlichen Systems Engineering und vernachlässigen Model-Based Systems Engineering. Eine Ausnahme stellt das Reifegradmodell von VOGELSANG dar. Dieses betrachtet MBSE detailliert, verzichtet aber auf die Betrachtung von SE. Kein Ansatz betrachtet SE und MBSE in der geforderten Form. Viele Ansätze betrachten nur Teilaspekte, etwa die Ansätze von ALT, GERHARDT und SCHIERBAUM. Abhängigkeiten zwischen SE und MBSE werden kaum betrachtet.

A4) Transparenz und Nachvollziehbarkeit sicherstellen: Die betrachteten Reifegradmodelle liefern im Wesentlichen vergleichbare und reproduzierbare Ergebnisse. Beschreibungen und Vorschriften sind gerade bei CMMI und dem Ansatz nach BALÁZOVÁ gut, bei VOGELSANG und dem Reifegradmodell nach UNITY ist die Dokumentation hingegen nicht ausreichend. CHRISTIANSEN liefert zwar kein direkt anwendbares Reifegradmodell, aber wertvolle Informationen zur Gestaltung eines solchen.

A5) Einführungsmöglichkeiten berücksichtigen: Keiner der betrachteten SE-Einführungsansätze integriert die Auswahl unterschiedlicher Konzepte oder Strategien zur Einführung. Stattdessen konzentrieren sich die Ansätze jeweils auf einzelne Möglichkeiten, beispielsweise Piloten (vgl. ALT). Die betrachteten Ansätze zur organisationalen Verankerung liefern zwar verschiedene Möglichkeiten, die verfügbaren Standardstrategien passen jedoch nicht zur Einführung von SE bzw. MBSE.

A6) Change Management integrieren: Die betrachteten SE-Einführungsansätze weisen zwar auf die Bedeutung von Change Management, Unterstützung bei der Integration des Change Managements ist jedoch nicht gegeben. Die expliziten Change Management-Ansätze sind hier deutlich besser geeignet und liefern ausführliche Informationen und Hilfsmittel zur Planung und Durchführung von Veränderungsprojekten. Die Ansätze sind jedoch zum Teil stark Top-Down geprägt und damit nur begrenzt für die europäische Veränderungskultur geeignet. Die von CONNER beschriebenen Rollen des Change Management können problemlos auf den Kontext Einführung von SE übertragen werden.

A7) Strukturiertes Vorgehen bereitstellen: Sowohl im Kontext der SE-Einführungsansätze als auch im Kontext des Change Managements liegen verschiedene strukturierte

Vorgehen vor. Die Ansätze nach KRÜGER, SCHUH, UNITY und der „Special Interest Group Systems Engineering Implementation“ sind hierbei als positiv hervorzuheben. Allerdings fehlt gerade den SE-spezifischen Ansätzen eine geeignete Detaillierung bzw. Unterstützung durch Methoden und Hilfsmittel.

A8) Organisationsstruktur gestalten: Die Gestaltung von zu SE passenden Aufbauorganisationen wird in keinem der beschriebenen Ansätze explizit betrachtet. SHEARD und FRIDENTHAL beschreiben Rollen bzw. Teams, die bei der Anwendung von SE relevant sind. Die notwendigen Unterstützungsrollen werden nicht oder unzureichend betrachtet. Allgemein mögliche Organisationsstrukturen werden von SCHLICK, BRUDER und LUCZAK zusammengefasst. Es fehlt jedoch an Ansätzen, die diese generischen Strukturen mit dem SE integrieren.

A9) Berücksichtigung von Großunternehmen: Besonderheiten von Großunternehmen werden von keinem der betrachteten Ansätze explizit adressiert, was nicht bedeutet, dass die Ansätze ungeeignet wären. Lediglich die explizit auf KMU zugeschnittenen Ansätze sind wenig geeignet. Keiner der betrachteten Einführungsansätze adressiert explizit die beschränkten Gestaltungsfreiheiten in Großunternehmen.

A10) Methoden- und Werkzeugunabhängigkeit sicherstellen: Keiner der betrachteten Ansätze ist explizit auf bestimmte Methoden oder Werkzeuge beschränkt. Die Anforderung wird dementsprechend von allen Ansätzen erfüllt.

Keiner der betrachteten Ansätze erfüllt die gestellten Anforderungen in vollem Umfang. Eine triviale Kombination der bestehenden Ansätze ist ebenfalls nicht in der Lage, die gestellten Anforderungen zu erfüllen. Eine wesentliche Schwachstelle aktueller Ansätze ist die fehlende integrative Betrachtung von SE und MBSE sowie der starke Fokus auf Prozesse, wodurch andere Aspekte vernachlässigt werden. Zudem gibt es zwar gute Ansätze aus dem Change Management, diese sind jedoch unabhängig von den Einführungsansätzen für SE und MBSE. Zwar verweisen vorhandene SE-Einführungsansätze auf die Bedeutung des Change Managements, die Vorgehensweisen der Ansätze und des Change Managements sind jedoch teilweise sehr unterschiedlich und es wird nicht deutlich, wie beide Ansätze zu integrieren sind. Es besteht demnach Bedarf für ein *Rahmenwerk zur Einführung von Systems Engineering und Model-Based Systems Engineering*.

4 Rahmenwerk zur Einführung von SE und MBSE

Kapitel 4 bildet den Kern der vorliegenden Arbeit. Es beschreibt die Bestandteile des *Rahmenwerks zur Einführung von Systems Engineering und Model-Based Systems Engineering*. Dieses hat den Anspruch, der in Kapitel 2 dargestellten Problemstellung und dem in Kapitel 3 aufgezeigten Handlungsbedarf gerecht zu werden. Kapitel 4.1 bietet einen Überblick über das Rahmenwerk. In den darauffolgenden Kapiteln werden, wie in Kapitel 4.1 beschrieben, die einzelnen Bestandteile des Rahmenwerks vorgestellt.

4.1 Struktur des Rahmenwerks

Das Rahmenwerk ist, wie in Bild 4-1 dargestellt, in drei wesentliche Bestandteile untergliedert: Das **Fundament** bilden die in Kapitel 4.2 dargestellten **Grundlagen des Rahmenwerks**. Diese definieren das Verständnis der Produktentstehung und mögliche Ziele zur Einführung von Systems Engineering und Model-Based Systems Engineering.

Das **Operationalisierungskonzept** beschreibt das Vorgehen zur Anwendung des Rahmenwerks. Damit strukturiert es neben der Einführung von SE und MBSE auch das Rahmenwerk, indem es dem Anwender des Rahmenwerks neben dem Vorgehen auch beschreibt, wann welches Hilfsmittel einzusetzen ist.

Die **Säulen** des Rahmenwerks, die Fundament und Operationalisierung verbinden, werden durch die Hilfsmittel zur Einführung gebildet. Das **Reifegradmodell zur Einführung** von SE und MBSE wird als das bedeutendste Hilfsmittel in Kapitel 4.4 beschrieben. Alle weiteren Hilfsmittel werden, sortiert nach ihrer Verwendung im Operationalisierungskonzept, in Kapitel 4.5 vorgestellt.

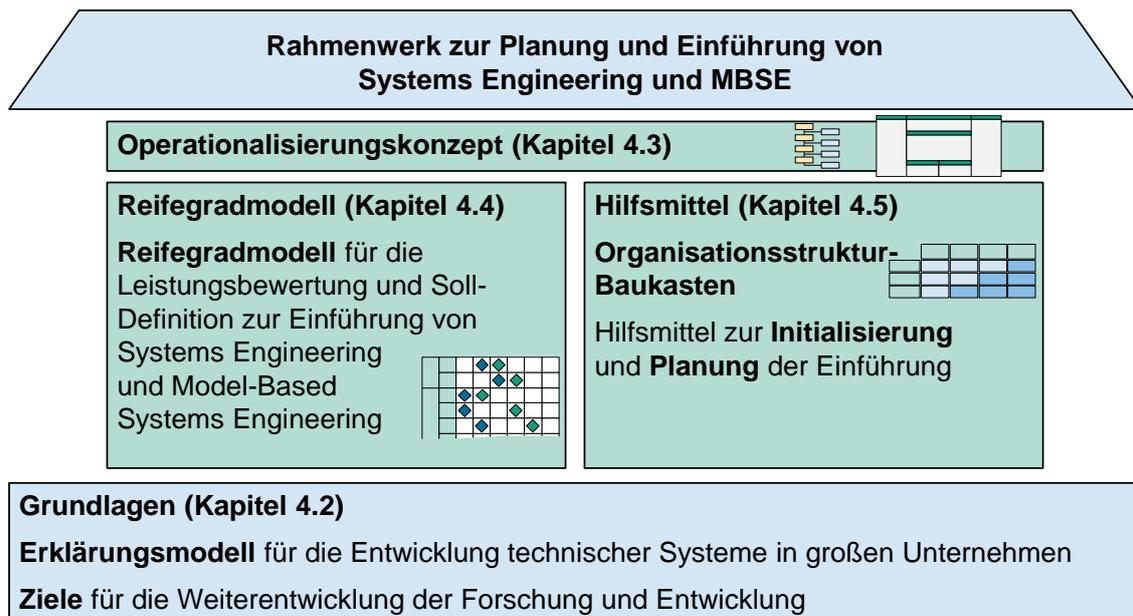


Bild 4-1: Struktur des Rahmenwerks

4.2 Grundlagen

Im Folgenden werden zunächst die Grundlagen des Rahmenwerks beschrieben. Zu diesem Zweck wird zunächst das Erklärungsmodell für die Entwicklung technischer Systeme in großen Unternehmen definiert. Anschließend wird eine strukturierte Übersicht über mögliche Ziele für die Einführung von SE und MBSE erarbeitet und präsentiert.

4.2.1 Erklärungsmodell

Kern der Einführung von SE und MBSE ist die bedarfsgerechte Veränderung der Entwicklung technischer Systeme mit ihren verschiedenen Facetten. Die Entwicklung technischer Systeme kann dabei selbst als ein System mit verschiedenen Teilsystemen verstanden werden (vgl. Kapitel 3.1.6). Wie in den Kapiteln 3.1 und 3.3 sowie in [HBK+19] beschrieben, gehören hierzu neben den Entwicklungsprozessen auch die Organisation, darin tätige Personen und deren Qualifikation. Das in Bild 4-2 dargestellte Erklärungsmodell nutzt den Rahmen der ZOPH-Modellierung und hebt die zur Einführung von SE und MBSE relevanten Aspekte „fett“ hervor. Die Inhalte des ursprünglichen ZOPH-Modells sind in „kursiv“ dargestellt. Ein besonderer Schwerpunkt liegt dabei auf dem Prozesssystem und dem Handlungssystem, die von der Einführung direkt beeinflusst werden. Die Teilmodelle werden im Folgenden kurz beschrieben.

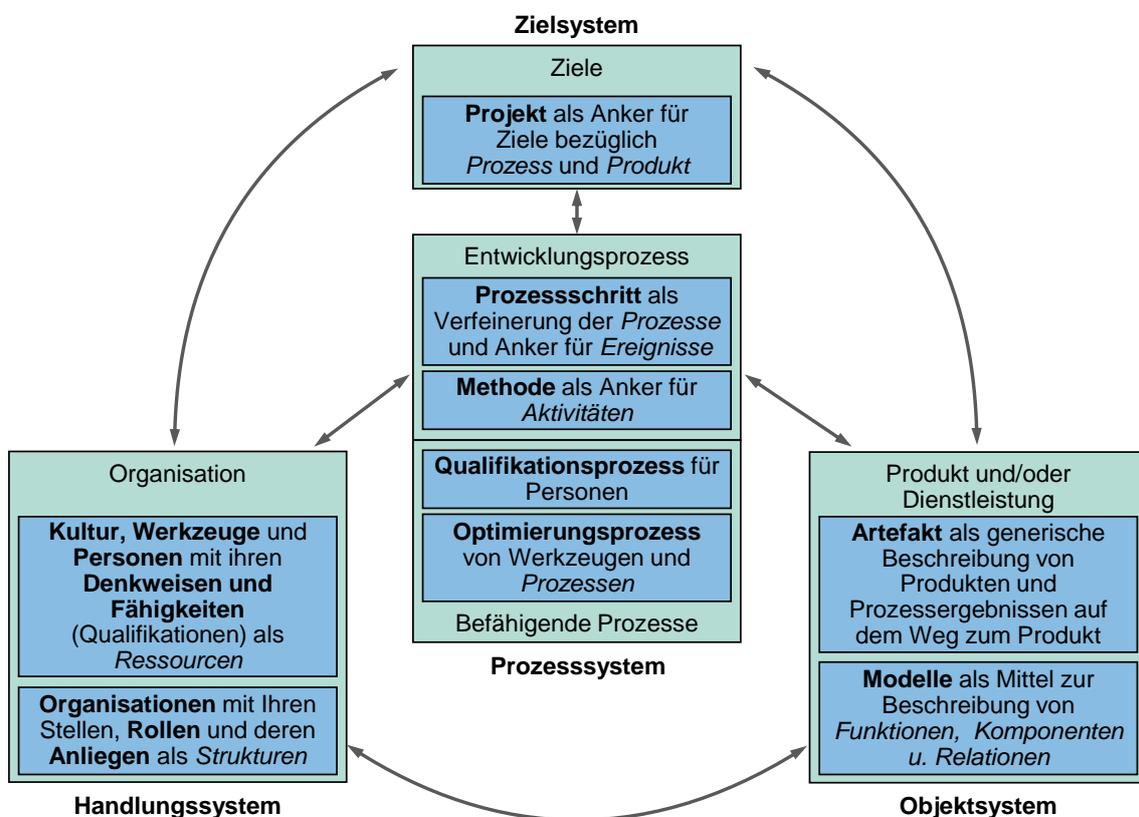


Bild 4-2: Erklärungsmodell für die Entwicklung technischer Systeme

Das **Zielsystem** unterteilt sich in Ziele für Prozess und Produkt. Als gemeinsame Klammer wird gegenüber dem ursprünglichen ZOPH-Modell jedoch das Projekt eingefügt. In einem Projekt wird ein konkretes Produkt im Rahmen einer Instanz des Prozesssystems entwickelt. Somit ergibt sich aus dem Projekt der konkrete Satz an Zielen gegenüber Prozess und Produkt. Produktziele werden zudem typischerweise im Rahmen des Entwicklungsprozesses näher betrachtet (vgl. Prozesse „Geschäftsanalyse“ und „Definition von Kundenanforderungen“ nach ISO15288).

Im **Objektsystem** werden die verschiedenen produktbeschreibenden Eigenschaften ausgeblendet, da sie unabhängig vom gewählten Entwicklungsansatz sind und somit durch die Einführung von SE und MBSE nicht beeinflusst werden. Statt dieser Eigenschaften wird ein Artefakt als generisches Element zur Beschreibung von Produkten und als verknüpfendes Element zum Prozesssystem verwendet. Zudem werden Modelle als eine konkrete, im Kontext MBSE besonders wichtige Art von Artefakten hervorgehoben.

Im Rahmen des **Prozesssystems** werden Prozesse in ihre Prozessschritte und die zugeordneten Methoden unterteilt. Die Methoden („wie?“) verknüpfen die Prozessschritte („was?“) mit den Aktivitäten, die zur Durchführung des Prozesses notwendig sind. Ausgehend von den in Kapitel 2.3.4 identifizierten Barrieren wird der Betrachtungsraum des Prozesssystems jedoch erweitert: neben dem Entwicklungsprozess werden zusätzlich befähigende Prozesse betrachtet. Qualifikationsprozesse befähigen Personen zur Ausfüllung ihrer Rolle bzw. zur Durchführung konkreter Aktivitäten im Rahmen des Entwicklungsprozesses. Optimierungsprozesse sorgen für die notwendigen Rahmenbedingungen, etwa geeignete Werkzeuge und Verbesserungen am Entwicklungsprozess. Beides darf nicht als einmaliges Ereignis im Rahmen der Einführung verstanden werden, sondern muss als kontinuierlicher Prozessbereich etabliert werden, um einen mittel- bis langfristigen Erfolg einer Einführung von SE und MBSE zu gewährleisten.

Für das **Handlungssystem** werden die aus ZOPH bekannten Ressourcen und Strukturen konkreter beschrieben. Ressourcen sind demnach die Kultur im Unternehmen, verfügbare Werkzeuge sowie Personen mit ihren Denkweisen und Fähigkeiten. Strukturen werden unterteilt in Organisationen (z. B. Abteilungen, Gruppen, etc.), Stellen in diesen Organisationen sowie Rollen, die das Bindeglied zwischen Stellen in der Organisation und Aufgaben aus dem Prozesssystem bilden [BK13]. Aus den Rollen bzw. damit verbundenen Aufgaben resultieren wiederum Anliegen. Zusammenhänge zwischen den genannten Aspekten aller Systeme sind ausgehend von [HBK+19] in Anhang A1 skizziert.

4.2.2 Ziele für die Einführung von SE und MBSE

Systems Engineering und Model-Based Systems Engineering werden in den betrachteten Branchen vor dem Hintergrund erwarteter Verbesserungen im Produktentwicklungsprozess angestrebt. Um mehr Transparenz bezüglich der erreichbaren Ziele zu schaffen, wird im Folgenden eine Übersicht über mögliche SE-Ziele erarbeitet.

Die Identifikation der möglichen Ziele erfolgte auf Basis von drei Quellen. Die erste Quelle stellt die **Literaturrecherche** dar. Um eine Nähe zu tatsächlichen Zielen der Industrie sicherzustellen, wurden hier neben den in Kapitel 3 beschriebenen Quellen insbesondere Veröffentlichungen im Rahmen des industrienahe Tags des Systems Engineerings (TdSE) untersucht (vgl. Anhang A2.1). Aus den 108 betrachteten TdSE-Veröffentlichungen enthielten 22 Beschreibungen und Hinweise auf Ziele zur Einführung von SE. Zusätzlich wurde die erarbeiteten Nutzenpotentiale nach SCHIERBAUM [Sch19] einbezogen. Die ersten drei dieser Nutzenpotentiale gehen direkt in den Zielen *Innovation ermöglichen*, *Transparenz ermöglichen* und *Disziplinübergreifende Zusammenarbeit* auf. Das Nutzenpotential „frühzeitige Analysen“ wurde tiefer gelegt, um den eigentlichen Mehrwert hinter den Analysen hervorzuheben und wird daher indirekt über die Ziele *Schnellere Rückmeldung*, *Risiken Reduzieren* und *Kunden besser verstehen* abgebildet.

Die zweite Quelle war die Analyse von 9 im Rahmen der Fraunhofer-Aktivitäten durchgeführten **Industrieprojekten** zur Einführung von SE bei 6 Unternehmen. Bei jedem Projekt wurden Motivation und Ziele der Unternehmen analysiert, um Erwartungen und Zielen der Einführung abzuleiten und auf die Erfüllung dieser Ziele hinzuarbeiten.

Die dritte Quelle ist eine ausführliche **SE-Prozess- und Mehrwertanalyse** im Rahmen eines weiteren Industrieprojekts. Das hier betrachtete Unternehmen entwickelt und produziert seine Produkte mit weltweit über 20.000 Mitarbeitern hauptsächlich in Deutschland. Für die klassische Entwicklung ist das Unternehmen gut aufgestellt und hat zahlreiche Experten in seinen Reihen. Aufgrund der wachsenden Bedeutung von Software und der steigenden Vernetzung der Produkte ergab sich jedoch der Bedarf für Ansätze zur Komplexitätsbeherrschung. Um die möglichen Mehrwerte einer Einführung von SE zu untersuchen, wurde der gelebte Entwicklungsprozess auf der Grundlage von Prozessbeschreibungen und Experteninterviews analysiert. Dieser Prozess wurde mithilfe der Business Process and Modeling Notation (BPMN) mit jeweils über 700 Elementen und Beziehungen dokumentiert. Anschließend wurde das Modell in zwei weiteren Interviewreihen konsolidiert, wobei unterschiedliche Prozessverständnisse zwischen verschiedenen Abteilungen sowie bekannte Pain Points (PP) aufgedeckt wurden. In Summe wurden über 40 Interviews zu je zwei Stunden durchgeführt. In einem zweiten Schritt wurden mittels einer strukturierten Analyse weitere PPs, wie fehlende oder schlecht definierte Inhalte, Medienbrüche und ähnliches identifiziert. Für jeden PP wurde ein Potential abgeleitet, das durch die Lösung des PP erreicht werden kann. Ergebnis war eine Liste mit über 70 Potentialen, welche im nächsten Schritt dahingehend überprüft wurden, ob sie ein direktes Ziel darstellen oder ein Mittel zum Zweck waren. Beispielsweise stellt die Einführung eines Modells kein originäres Ziel dar, sondern ist nur ein Mittel zur Erfüllung eines Ziels zu welchem dieses Modell beiträgt. Für alle Potentiale, die Mittel zum Zweck waren, wurde das dahinterstehende Ziel identifiziert oder – sofern bereits bekannt – verknüpft. So tragen beispielsweise die "Definition interner Schnittstellen" sowie die "Einführung einer funktionalen Architektur" zu einem besseren Management der Produktkomplexität

bei. Die Einführung der „Modellbasierten Rückverfolgbarkeit von Anforderungen zu Lösungen“ sowie die „Verwendung von MBSE-Architekturmodellen“ tragen unter anderem zur Senkung der Compliance-Kosten bei.

Die aus allen drei Quellen identifizierten Ziele wurden konsolidiert und in einer Umfrage über 60 Experten, Anwendern und Interessierten im Rahmen der it's OWL Fachgruppe Systems Engineering mit zwei Aufgaben vorgelegt: Zum einen sollten möglicherweise fehlende Ziele ergänzt werden, zum anderen sollte die Priorität der Ziele für die Anwesenden identifiziert werden. Hierbei wurden keine neuen Ziele identifiziert. Eine vollständige Übersicht der Umfrageergebnisse ist in Anhang A2.2 dargestellt.

Zur besseren Übersicht über die Ziele wurden diese anschließend in die Bedürfnispyramide für den B2B-Sektor nach ALMQUIST et al. [ACS18] übertragen. Die resultierende SE-Bedürfnispyramide unterscheidet, wie in Bild 4-3 dargestellt, **5 Oberbereiche und 34 Ziele**. Die einzelnen Ziele sind dabei nicht unabhängig voneinander – mehr Innovation kann im nächsten Schritt den Umsatz erhöhen, eine Reduktion der Risiken kann Kosten reduzieren, etc. Aus diesem Grund gilt es, bei der Zielbetrachtung jeweils die direkten Ziele zu betrachten, da hieraus resultierende Maßnahmen im Kern anders ausgerichtet sein können, wengleich für unterschiedliche Ziele auch ähnliche Maßnahmen geeignet sein können. Im Folgenden werden die 5 Bereiche und jeweils ein exemplarisches Ziel näher erläutert, beginnend am Fuß der Pyramide. Der vollständige Katalog der Ziele kann Anhang A2.3 entnommen werden.

Basisziele tragen zur Erreichung der Grundvoraussetzungen eines funktionierenden Geschäftsbetriebes bei und bilden das Fundament für die Erreichung weiterer Ziele. So lange in diesem Bereich ernstzunehmende Defizite vorliegen, sollten diese priorisiert betrachtet werden. Durch die Erreichung aller Basisziele wird sichergestellt, dass das Unternehmen die relevanten Normen erfüllt, seine Zielkosten einhält und die entwickelten Systeme die relevanten Anforderungen erfüllen. Ein exemplarisches Ziel aus dem Bereich ist „Normkonformität sicherstellen“: Ziel ist es, den Ansprüchen gerecht zu werden, die im Rahmen relevanter Normen an das Unternehmen und seine Prozesse, Werkzeuge und Produkte gestellt werden. Eine typische Norm im Bereich des Automobilbaus ist ISO 26262.

Funktionale Ziele zielen auf die Verbesserung der grundlegenden Funktionalität des Unternehmens ab. Dabei wird zwischen zwei Bereichen unterschieden: Aus *ökonomischer Perspektive* kann die Funktionalität durch das Verhältnis von Umsatz zu Kosten beschrieben werden. Aus der Perspektive der *Performance* kann die Funktionalität im Sinne der Qualität, der Innovationskraft und der Skalierbarkeit verbessert werden. Ein exemplarisches Ziel aus dem Bereich Ökonomie ist „Umsatz erhöhen“: Ziel ist es, den Unternehmensumsatz zu erhöhen, ohne ein (proportionales) Kostenwachstum zu erzeugen.



Bild 4-3: SE Ziel-Pyramide

Der größte Zielbereich ist die **Vereinfachung und Optimierung**. Der Fokus liegt dementsprechend darauf, die Abläufe im Unternehmen zu verbessern und weniger Fehler und Probleme zu generieren, die später wieder behoben werden müssen. Der Bereich der Vereinfachung kann in fünf Subbereiche unterteilt werden: Der Bereich *Produktivität* zielt darauf ab die gewünschte Leistung mit reduzierten Aufwänden zu erreichen. Im Bereich *Operativ* liegt der Fokus auf dem Beherrschen und Orchestrieren des operativen Geschäfts. Im Bereich *Zugriff* geht es darum, vorhandene Daten und Informationen so zur Verfügung zu stellen, dass mit geringem Aufwand die richtigen Informationen gefunden und genutzt werden können. Die *Zusammenarbeit* umfasst Ziele, die auf die Verbesserung des kooperativen Miteinanders zwischen Mitarbeitern abzielen. Abschließend gehören auch *strategische Ziele* in den Bereich der Vereinfachung und Optimierung. Diese umfassen Ziele, die mit Blick nach vorn das Unternehmen besser für zukünftige Herausforderungen aufstellen. Ein exemplarisches Ziel aus dem Bereich der strategischen Ziele ist „Kunden besser verstehen“: Ziel ist es, die Bedarfe des oder der Kunden besser zu verstehen, um die eigene Leistung besser an diese anzupassen.

Während sich die oben genannten Ziele auf das Unternehmen beziehen, können auch Individuen mit SE konkrete **Karriereziele** verfolgen. Auch wenn diese Ziele nicht direkt interessant für ein Unternehmen sind, können sie doch dazu beitragen, wichtige Mitarbeiter für das Thema zu gewinnen. Ein exemplarisches Karriereziel ist „Eigene Marktwert erhöhen“: Durch den Aufbau von Kompetenz und Ruf in einem wichtigen Themenfeld soll der eigene Wert (des Mitarbeiters) erhöht werden.

Abschließend verbleiben der Bereich und das Ziel der **Inspiration**. Hierbei liegt der Fokus darauf, durch SE die Fähigkeit im Unternehmen zu verbessern, innovative Produktvisionen zu erarbeiten und dies systematisiert zu tun. Die Übertragung bekannter Funktionen und Prinzipien auf neue Produkte kann zur Inspiration für diese dienen.

4.3 Operationalisierungskonzept

Dieses Kapitel beschreibt das Vorgehensmodell zur Unterstützung der Einführung von Systems Engineering und Model-Based Systems Engineering und bildet damit zugleich den Strukturierungsrahmen für die Hilfsmittel in Kapitel 4.5. Gemäß der an das Rahmenwerk gestellten Anforderungen orientiert sich das Vorgehen an den im Stand der Technik erläuterten Vorgehen zum Change Management und bindet SE-spezifische Hilfsmittel, wie etwa das in Kapitel 4.4 beschriebene Reifegradmodell zur Einführung von Systems Engineering, darin ein. Die folgende Beschreibung bietet einen kurzen Überblick über das Operationalisierungskonzept. Die vier Phasen des Konzepts werden in den Kapiteln 4.3.1 bis 4.3.4 näher erläutert. Bild 4-4 stellt das Vorgehensmodell dar. Vom Rahmenwerk bereitgestellte Hilfsmittel sind in Bild 4-4 kursiv hinter der durch sie unterstützten Aufgabe vermerkt. Die Hilfsmittel selbst werden in Kapitel 4.5 vorgestellt. Die vier Phasen sind in Bild 4-4 zur Vereinfachung als lineares Phasen-Meilensteinmodell dargestellt – ein iterativer Ablauf ist jedoch erstrebenswert, insbesondere ab der zweiten Phase.

In Anlehnung an KRÜGER (s. Kapitel 3.3.1.3) startet das Operationalisierungskonzept mit der **Initialisierung** (Phase 1). In dieser Phase werden die Bedarfe und Ziele der Einführung erhoben und eine geeignete Organisation zur weiteren Planung, Durchführung und Begleitung des Veränderungsprozesses aufgesetzt. Phase 2, **Einführung Planen**, basiert auf der Leistungsbewertung und Zieldefinition nach CHRISTIANSEN. Davon ausgehend werden unter Berücksichtigung spezifischer Rahmenbedingungen im Unternehmen die konkreten Maßnahmen zur Umsetzung abgeleitet. Abschließend wird eine Umsetzungsroadmap definiert. Ausgehend von KRÜGER und DE LANDTSHEER et al. wird in Phase 3 die **Umsetzung** adressiert. Dazu gehört neben der Abarbeitung der definierten Maßnahmen die Durchführung von Pilotprojekten sowie das Sicherstellen der Mobilisierung der Mitarbeiter. In Phase 4, **Rollout und Verstetigung**, werden die erarbeiteten Inhalte in den operativen Betrieb überführt und Maßnahmen zur Verstetigung getroffen.

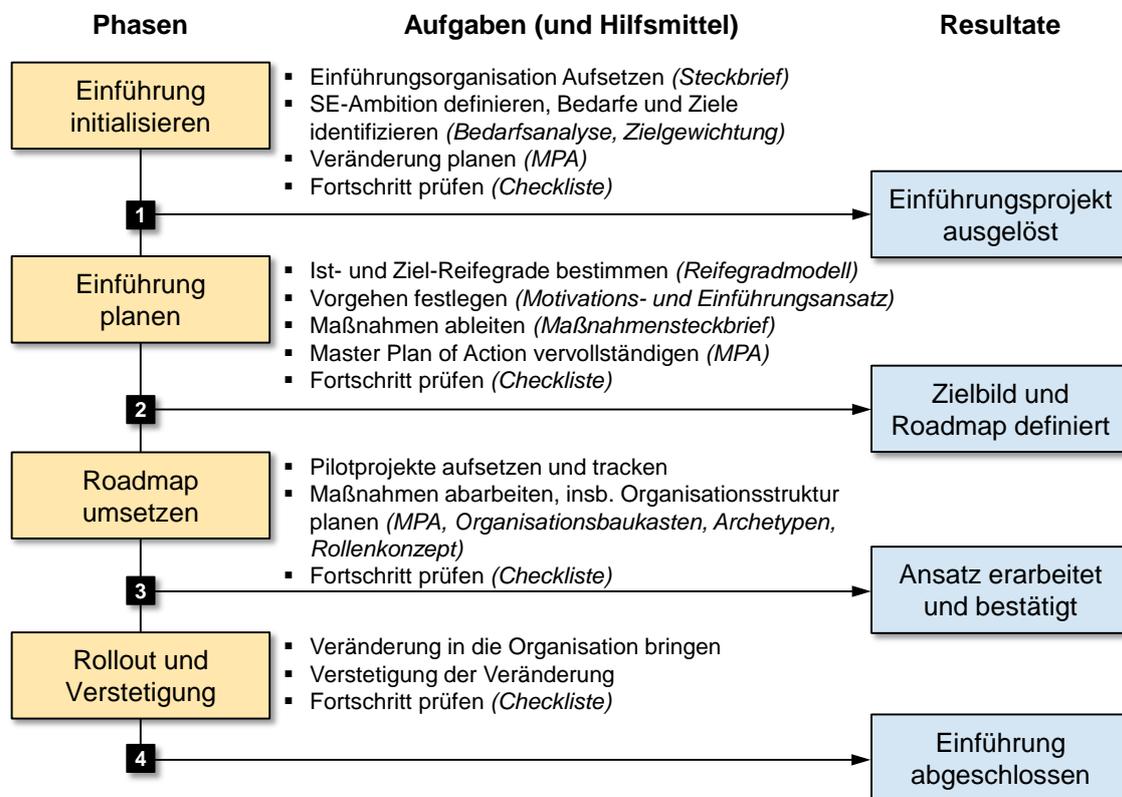


Bild 4-4: Vorgehen zur Einführung von SE

4.3.1 Einführung initialisieren

Ziel der ersten Phase ist das Auslösen eines geeigneten Einführungsprojekts und das Festlegen der mit der Einführung verbundenen Ziele. Die Phase ist notwendig, um die notwendigen Verantwortlichkeiten und die Zielrichtung der Einführung von SE beziehungsweise MBSE zu klären.

Ausgangspunkt ist das **Aufsetzen der Change-Organisation**, welche die weiteren Tätigkeiten koordiniert, durchführt und überwacht. Neben den beschriebenen Aufgaben ist

das Change-Team zudem verantwortlich, das notwendige Projekt- bzw. Programmmanagement durchzuführen und die Berichts- und Eskalationswege zu bedienen. Der **Master Plan of Action** (MPA) kann im Format Din A0 gedruckt und im Projektbüro oder an einer Informationsfläche aufgehängt werden. So können sich Projektmitglieder und Interessierte jederzeit über den aktuellen Stand der Dinge informieren.

Im ersten Schritt muss das Change-Team mit seinen Sponsoren bzw. Auftraggebern die **SE-Ambition**, den Vorläufer des SE-Leitbildes, definieren. Diese gibt der Change-Organisation die notwendige Orientierung für die Einführung und muss im Verlauf des Einführungsprojekts zunächst zum offiziellen SE-Leitbild weiterentwickelt und anschließend fortführend aktualisiert werden. Das SE-Leitbild beschreibt in Anlehnung an GAUSMEIER folgende Elemente [GP14]: Motivation und Mission, Ziele und Nutzenversprechen für die Stakeholder. Es beschreibt ein Zukunftsbild, welches noch konkret und nah genug ist, um realisierbar zu sein, aber auch den nötigen Weitblick hat, um die Begeisterung in der Organisation für eine neue Wirklichkeit zu wecken [GP14].

Im zweiten Schritt gilt es die konkreten **Bedarfe** für die Einführung von SE und MBSE zu ermitteln. Hierzu wird eine **Prozessanalyse auf Basis von Interviews** durchgeführt. Auf Basis der identifizierten Bedarfe werden abschließend die genauen **Ziele** für die Einführung abgeleitet und priorisiert.

In der Phase werden folgende Hilfsmittel eingesetzt:

- Gestaltungshilfe für die Change-Organisation (Steckbrief) (Kapitel 4.5.1)
- MPA und Change-Checklisten (Kapitel 4.5.1)
- Prozessbasierte Zieldefinition (Kapitel 4.5.2)
- Zieldefinition für die Einführung und Vergleichsmatrix der Verbesserungsziele (Kapitel 4.5.2)

Resultat der Phase ist eine arbeitsfähige Change-Organisation, die Klarheit über die priorisierten Ziele der SE-Einführung für sich und alle relevanten Stakeholder geschaffen hat. Diese Ziele werden MPA dokumentiert. Im dargestellten Beispiel (vgl. Bild 4-5) wurde als wichtigstes Ziel das Reduzieren von Änderungen mit einer Priorität von 22 % identifiziert. Die Ziele und ihre Gewichtung werden als erstes zentrales Ergebnis auch den Sponsoren berichtet und freigegeben.

4.3.2 Einführung planen

Ziel der zweiten Phase ist die detaillierte Planung der angestrebten Einführung. Ausgangspunkt hierfür sind die in Phase 1 definierten Ziele.

Im ersten Schritt gilt es, die aktuelle Ist-Situation im Hinblick auf SE und MBSE zu erheben. Ausgehend von der im Rahmen der *Initialisierung* durchgeführten Prozessanalyse sowie den durchgeführten Interviews besteht im Change-Team ein gutes Verständnis für

die aktuelle Situation im Unternehmen. Zur Bestimmung des Ist-Reifegrades wird die **Leistungsbewertung des Reifegradmodells** genutzt (vgl. Kapitel 4.4.3). Für jedes Handlungselement wird auf Basis der Prozessdokumentation, der Ergebnisse der Interviews und der Ergebnisse der Prozessanalyse abgeglichen, welche Leistungsstufe vorliegt. Dabei wird jeweils auf Ebene der obersten betrachteten Organisation bewertet. Daher kann es vorkommen, dass einzelne Bereiche für sich genommen eine höhere Reife aufweisen als die gesamte Organisation. Trotz möglicher Unterschiede in verschiedenen Teilen der Organisation sollte das Ergebnis der Bewertung von allen Stakeholdern getragen werden. Anderenfalls besteht ein hohes Risiko, dass wichtige Maßnahmen nicht akzeptiert werden, da deren Grundlage bzw. Berechtigung angezweifelt werden.

Im zweiten Schritt werden die Zielreifegrade für die betrachteten Handlungselemente mit der **Zielbeitragsmatrix der Reifegrade** ermittelt (vgl. Kapitel 4.4.4). Die Bewertung der Zielbeiträge erfolgt in einem interdisziplinären Workshop, an dem sowohl die Experten des Change-Teams als auch Fachbereichsvertreter teilnehmen. Die Experten erläutern zunächst je Handlungsfeld die unterschiedlichen Leistungsstufen. Im Team wird anschließend gemeinsam der Zielbeitrag der jeweiligen Leistungsstufe zu den definierten Zielen geschätzt. Aus dem Vorgehen ergeben sich wie in Kapitel 4.4.4 beschrieben die jeweiligen Ziel-Leistungsstufen, die im MPA zu dokumentieren sind.

In den folgenden Schritten gilt es, ein zur Situation passendes Motivations- und Einführungsverfahren festzulegen und im MPA festzuhalten. Ausgehend von den nun bekannten Rahmenbedingungen sowie den Ist- und Zielreifegraden gilt es geeignete Maßnahmen abzuleiten, diese zu plausibilisieren und in der Umsetzungsroadmap im MPA zu dokumentieren. Für diese Phase werden folgende Hilfsmittel eingesetzt:

- MPA und Change-Checklisten (Kapitel 4.5.1)
- Reifegradmodell: Leistungsbewertung (Kapitel 4.4.3) und Bestimmung der Zielreifegrade (Kapitel 4.4.4)
- Motivationsansatz (Kapitel 4.5.3.1) und Einführungsansatz (Kapitel 4.5.3.2)
- Vorgehen zur Ableitung und Dokumentation von Maßnahmen (Kapitel 4.5.3.3)

Zentrales **Ergebnis** der Phase sind die definierten und plausibilisierten Maßnahmen. Diese sind in Steckbriefen und mittels der Umsetzungsroadmap im nun vollständig ausgefüllten MPA dokumentiert (vgl. Bild 4-5).

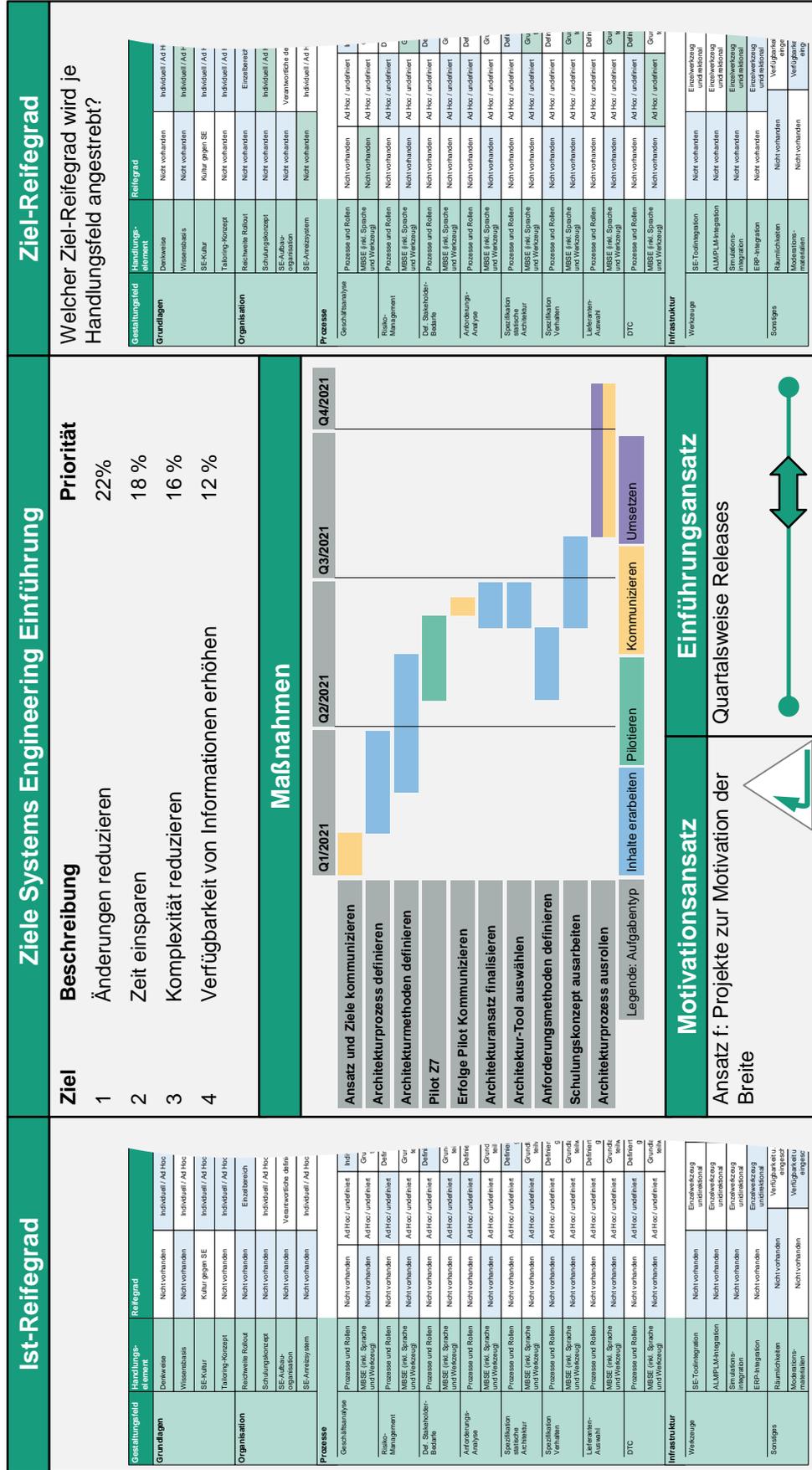


Bild 4-5: Voll ausgefüllter Master Plan of Action (Ausschnitt)

4.3.3 Roadmap umsetzen

Die Phase „Roadmap umsetzen“ hat zum Ziel, konkrete Ansätze zu erarbeiten und deren Eignung zu bestätigen. Darüber hinaus müssen im Sinne des Change Managements die relevanten Stakeholder an der kommenden Veränderung beteiligt werden.

Zu diesen Zwecken werden die in der Umsetzungsroadmap definierten Maßnahmen abgearbeitet und ein Projekt- und Veränderungscontrolling aufgesetzt. Abweichungen vom Plan führen jeweils zu einer Aktualisierung der Roadmap sowie nach Bedarf zu neuen Maßnahmen, die einer Fehlentwicklung entgegenwirken sollen. Fokus der Phase sind Maßnahmen der Typen „Erarbeiten von Inhalten“, „Pilotieren“ und „Kommunizieren“.

Für das Umsetzungscontrolling wird nach MÜLLER-STEWENS und LECHNER zwischen drei Bereichen unterschieden [ML03]: Prämissenkontrolle und Durchführungskontrolle fallen dabei in Phase 3 „Roadmap umsetzen“, die Wirksamkeitskontrolle in die Phase 4 „Rollout und Verstetigung“. Die **Prämissenkontrolle** stellt sicher, dass die getroffenen Annahmen gültig sind. So wird verhindert, dass Maßnahmen, die aufgrund veränderter Rahmenbedingungen nicht mehr geeignet sind, durchgeführt werden. Die **Durchführungskontrolle** prüft den Erfolg der Umsetzung. Hier wird auf Basis der Maßnahmensteckbriefe und der Umsetzungsroadmap überprüft, ob die Maßnahmen ihre Ziele (Erfolgskriterium) mit den geplanten Aufwänden in der anvisierten Zeit erfüllen. Praktisch kann zum Controlling auf etablierte Controllinginstrumente zurückgegriffen werden, beispielsweise Befragungen, Balanced Scorecards, Benchmarks, etc.

Als weiterer Aspekt des Controllings gilt es sicherzustellen, dass verfügbare Ressourcen auch dann sinnvoll genutzt werden, wenn unerwartete Änderungen eintreten. Werden Maßnahmen als Ergebnis des Controllings vorzeitig beendet oder nicht gestartet, sollten die verfügbaren Ressourcen auf andere Maßnahmen umgeleitet werden.

Wichtig ist, dass den Maßnahmen im Kontext der Kommunikation und Einbindung von Stakeholdern das notwendige Gewicht zuteilwird, da die Veränderung sonst mit hoher Wahrscheinlichkeit nicht erfolgreich umgesetzt werden kann. Für die meisten Maßnahmen gibt es bereits etablierte Hilfsmittel bzw. Werkzeuge und Methoden, die adaptiert werden können. Ein Mittel zur Erarbeitung von Kommunikationskonzepten stellt STOLZENBERG bereit [SH09], die Erarbeitung geeigneter Methodenleitfäden beschreibt SCHIERBAUM [SCH19]. Zielzustände für Prozesse ergeben sich aus ISO 15288, etc. Ohne weitere Unterstützung nur schwer durchzuführen ist hingegen die Gestaltung einer geeigneten Organisationsstruktur. Für diese Maßnahme wird in Kapitel 4.5 ein Hilfsmittel bereitgestellt. In dieser Phase verwendete Hilfsmittel sind:

- MPA und Change-Checklisten (Kapitel 4.5.1)
- Baukasten zur Gestaltung der Organisationsstruktur sowie Archetypische Organisationsstrukturen (Kapitel 4.5.4)

Ergebnis der Phase sind erarbeitete und bestätigte Ansätze, die gemäß dem gewählten Einführungsansatz ausgerollt werden können.

4.3.4 Rollout und Verstetigung

Ziel der vierten Phase ist es, die erarbeiteten Ansätze in den operativen Betrieb zu überführen und sicherzustellen, dass sie langfristig gelebt werden. Fokus der Phase „Rollout und Verstetigung“ sind Maßnahmen der Typen „Umsetzen“ und „Kommunizieren“. Es gelten dieselben Hinweise zu Abarbeitung und Controlling entlang der Umsetzungsroadmap wie für die Phase „Roadmap umsetzen“. Die Kontrolle des Fortschritts wird für die Phase „Rollout und Verstetigung“ jedoch um die **Wirksamkeitskontrolle** ergänzt. Diese überprüft, ob die getroffenen Maßnahmen auch die gewünschte Auswirkung haben, also, ob das Unternehmen durch die Maßnahmen dem SE-Leitbild und den definierten Zielen näherkommt. Letzteres wird zum einen auf Basis der Ergebnisse von Pilotprojekten geschätzt, zum anderen nach jedem (Teil-)Rollout auf Basis des Reifegradmodells überprüft. Hier wird im Sinne der Performancekontrolle sichergestellt, dass das Delta zwischen Ist- und Zielreifegrad kontinuierlich sinkt. Entspricht die (aktuelle) Ist-Situation der ursprünglich definierten Ziel-Situation, gilt die Einführung als abgeschlossen.

Neben dem Rollout und den damit verbundenen Qualifikations- und Kommunikationsmaßnahmen kommt der Verstetigung eine besondere Bedeutung zu. Die Verstetigung soll sicherstellen, dass die eingeführten Inhalte auch in turbulenten Phasen in Anwendung bleiben und zu etwas Selbstverständlichem geworden sind. Um dies zu erreichen, müssen auch nach Abschluss der Einführung einzelne Nachsorgemaßnahmen durchgeführt werden [Kot95]. Es gilt auch nach Projektabschluss weiterhin **Transparenz** über den Mehrwert der neuen Vorgehensweisen zu schaffen. In den von der Veränderung betroffenen Bereichen muss darüber hinaus die **Organisationsentwicklung** auf eine Verstetigung hinarbeiten – beispielsweise müssen neue Führungskräfte die Ergebnisse der Veränderung ebenfalls mittragen. Abschließend muss auch ein Prozess eingerichtet werden, der die **Weiterentwicklung** der neuen Ansätze sicherstellt, damit diese nicht veralten. Dieser Prozess kann beispielsweise als KVP-Prozess oder, als proaktive Aufgabe von neu definierten Rollen etabliert werden. In dieser Phase verwendete Hilfsmittel sind:

- MPA und Change-Checklisten (Kapitel 4.5.1)

Ergebnis der Phase ist der Abschluss des Einführungsprojekts, sobald gemäß dem Reifegradmodell die vorhandenen Reifegrade den ursprünglich definierten Zielen entsprechen. Zudem ist sichergestellt, dass die eingeführten Veränderungen verstetigt wurden.

4.4 Reifegradmodell zur Einführung von SE und MBSE

Im Folgenden wird das Reifegradmodell zur Einführung von SE und MBSE vorgestellt. Es orientiert sich an den intrinsischen Merkmalen von Reifegradmodellen nach CHRISTIANSEN und unterstützt im Wesentlichen zwei Aufgaben: Erstens dient es zur objektiven

Erfassung des aktuellen Leistungsstands der Produktentwicklung hinsichtlich SE und MBSE. Zweitens dient es zur Definition einer unternehmensindividuellen und bedarfsgerechten **Zielposition** für die Einführung von SE und MBSE. Das dritte typische Ziel von Reifegradmodellen, die Leistungssteigerung (vgl. CHRISTIANSEN), wird im Rahmen des Operationalisierungskonzepts (s. Kapitel 4.3) adressiert. Sie ist nicht Teil des Reifegradmodells, da neben Ist- und Zielzustand noch weitere Faktoren Einfluss auf die Leistungssteigerung haben.

In Kapitel 4.4.1 werden zunächst die Struktur und Handlungsfelder des Reifegradmodells hergeleitet. In den weiteren Kapiteln werden das Reifegradmodell und seine Anwendung beschrieben. Kapitel 4.4.2 beschreibt, wie ausgehend von den Zielen der SE-Einführung mithilfe der Zielbeitragsmatrix der Handlungselemente die Handlungselemente identifiziert werden und welche Prozessbereiche für die weitere Betrachtung relevant sind. In Kapitel 4.4.3 wird die objektive und vergleichbare Identifikation der Ist-Reifegrade der betrachteten Organisation beschrieben. Abschließend erfolgt in Kapitel 4.4.4 die Identifikation der Zielreifegrade.

4.4.1 Herleitung der Handlungselemente und Gestaltungsfelder

Aus dem Erklärungsmodell für die Entwicklung technischer Systeme (s. Kapitel 4.2.1) ergeben sich, wie in Bild 4-6 dargestellt, die 16 **Handlungselemente** des Reifegradmodells. Diese stellen jeweils einen konkreten Handlungsraum dar, der im Rahmen der SE-Einführung zu beachten ist und der je nach Unternehmen bzw. Wertschöpfungskette unterschiedlich ausgeprägt sein kann. Aspekte des Erklärungsmodells sind dabei auf unterschiedliche Weise im Reifegradmodell abgebildet: Einzelne Aspekte sind direkt im Reifegradmodell abgebildet (z. B. Kultur). Einige Aspekte betreffen mehrere Handlungselemente des Reifegradmodells, z. B. der Aspekt Organisation, der sowohl das Handlungselement SE-Aufbauorganisation als auch das Handlungselement Reichweite des Rollouts betrifft. Die Aspekte Person und Anliegen werden indirekt im Reifegradmodell abgebildet: So ergibt sich ein Anliegen laut Erklärungsmodell aus einer Rolle und wird dementsprechend im Reifegradmodell über die SE-Rollen und -Prozesse und über die SE-Aufbauorganisation abgebildet. Die einzelnen Handlungselemente, sowie die zu den Handlungsfeldern gehörenden **Reifegrade**, werden in Kapitel 4.4.3 näher beschrieben.

Die Handlungselemente werden in vier übergeordneten **Gestaltungsfeldern** zusammengefasst. Diese gliedern den Untersuchungsbereich in unterschiedliche Aufgabenkomplexe: *Grundlagen*, *Organisation*, *Prozesse* und *Infrastruktur*. Im Gestaltungsfeld Prozesse ergeben sich die Handlungselemente aus den zu betrachtenden Prozessschritten, etwa Anforderungsanalyse oder Architekturgestaltung. Da in der betrachteten Zielgruppe der Großunternehmen bereits ausführliche Prozessbeschreibungen vorliegen, verzichtet das Reifegradmodell auf einen eigenen Vorschlag zur Aufteilung der Prozesse und verweist lediglich auf ISO15288. So werden Aufwände zur Adaption von Prozessen aus dem Reifegradmodell auf Unternehmensprozesse eingespart. Um eine unnötige Analyse von

Geschäftsprozessen zu vermeiden, wird zudem wie in Kapitel 4.4.2 dargestellt analysiert, welche Prozesse auf die Ziele einer konkreten SE-Einführung einzahlen; nur diese werden im weiteren Verlauf betrachtet. Im Gestaltungsfeld Infrastruktur wird zwischen Werkzeugen und Sonstigem unterschieden.

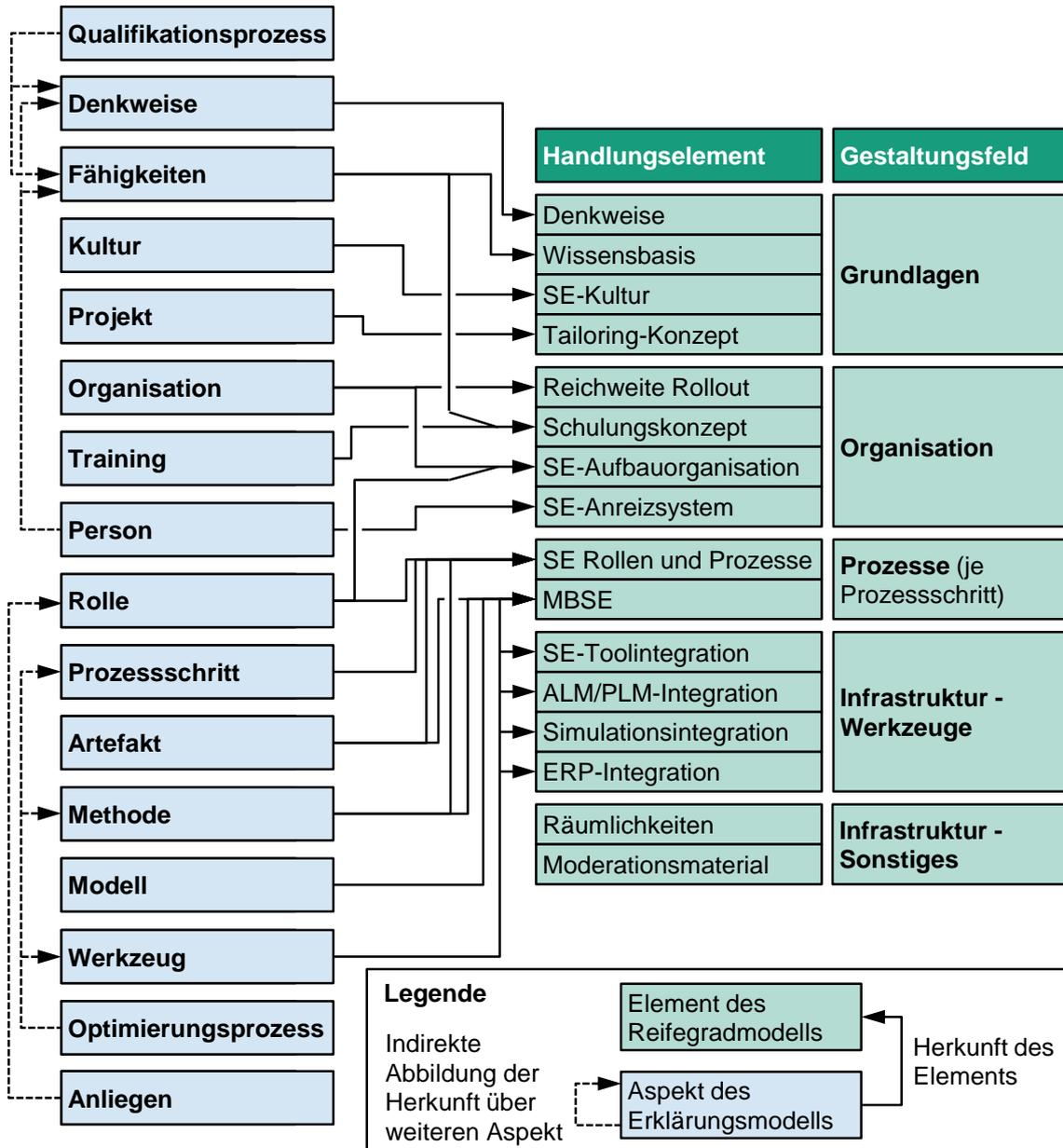


Bild 4-6: Ableitung des Reifegradmodells aus dem Erklärungsmodell

4.4.2 Zielbeitragsmatrix der Handlungselemente

Für das Gestaltungsfeld der Prozesse gilt es vor der Bewertung zu prüfen, welche Prozessschritte relevant sind. Ausgehend von den identifizierten SE- und MBSE-Zielen sowie den Unternehmensprozessen (alternativ den SE-Prozessen nach ISO 15288) wird hierzu eine Zielbeitragsmatrix der Handlungselemente in Anlehnung an BALÁZOVÁ verwendet. Mit dieser Matrix wird der Zusammenhang zwischen den Prozessen und Zielen

untersucht [Bal04]. Die zentrale Frage ist: „Wie stark trägt das Handlungselement i (Zeile) zum Verbesserungsziel j (Spalte) bei?“ Dies wird jeweils mit einem ganzzahligen Wert zwischen 0 und 3 ausgedrückt. 0 bedeutet „kein Beitrag“ und 3 einen „sehr starken Beitrag“. Bild 4-7 zeigt einen Auszug einer entsprechenden Matrix.

Zielbeitragsmatrix der Handlungselemente												
Fragestellung: "Wie stark trägt das Handlungselement (Zeile) zum Verbesserungsziel (Spalte) bei?"												
Bewertungsskala: 0 = kein Beitrag 1 = schwacher Beitrag 2 = mittlerer Beitrag 3 = starker Beitrag												
				Verbesserungsziel	Umsatz erhöhen	Zeit einsparen	Komplexität beherrschen					
				Nr.	1	2	3	Redundanz reduzieren	Breitenwirkung	Tiefenwirkung	Zielbeitragsindex	Gewichteter Zielbeitragsindex
				F _r oder G	1,1	1,9	2,0	10	1,4			
Kategorie	Prozess-kategorie	Handlungselement										
Prozesse	Technische Management-prozesse	Projektplanung	TM1	0	3	2	1	70	1,6	1,1	1,9	
		Projektbewertung und -steuerung	TM2	0	1	2	2	80	1,9	1,5	2,3	
		Entscheidungs-Management	TM3	2	2	1	2	80	1,6	1,3	1,9	
											0,0	
			Sicherstellung der Qualität	TM8	1	0	0	0	70	1,7	1,2	1,6
	Technische Prozesse		Geschäfts-/Missionsanalyse	T1	3	1	1	1	60	2,0	1,2	1,5
			Def. Stakeholder-Anforderungen	T2	3	2	2	2	90	2,1	1,9	2,8
			Anforderungsanalyse	T3	2	3	3	1	100	2,3	2,3	3,5
			Architekturgestaltung	T4	1	2	3	3	90	2,3	2,1	3,3
			Definition des Designs	T5	2	0	3	1	40	1,8	0,7	1,1

Bild 4-7: Beispiel einer Zielbeitragsmatrix der Handlungselemente (Auszug)

Die **Breitenwirkung** beschreibt den prozentualen Anteil der Verbesserungsziele, zu denen das Handlungselement einen Beitrag leistet. Die **Tiefenwirkung** entspricht der durchschnittlichen Wirkung des Handlungselements auf die von ihm beeinflussten Ziele. Der **Zielbeitragsindex** ergibt sich aus der Multiplikation von Tiefen- und Breitenwirkung und sagt aus, wie groß der Beitrag des Handlungselements zu den Zielen ist. Die Gewichtung der Ziele wird im **gewichteten Zielbeitragsindex** berücksichtigt. Die Berechnung erfolgt ähnlich wie die des einfachen Zielbeitragsindex. Gleichung 4-1 stellt dies dar.

$$GZ_i = \sum_{j=1}^{A_z} \frac{B_{i,j} * P_j}{BW_i * FA}$$

Gleichung 4-1: Berechnung der gewichteten Wirkung GZ_i

GZ_i : Gewichteter Zielbeitragsindex i eines Handlungselements

A_z : Anzahl betrachtete Ziele (im Beispiel 10)

$B_{i,j}$: Beitrag der Leistungsstufe i zum Ziel j

P_j : Priorität P des Ziels j (Rangindex oder Priorität, je nach Wunsch)

BW_i : Breitenwirkung des Handlungselements i

FA: Angleichungsfaktor. Wird die Priorität für P_j verwendet beträgt der Wert 10, wird ein Rangindex mit dem Wertebereich 1 bis 2 verwendet beträgt der Wert 100

Ein hoher Zielbeitragsindex steht für einen großen Beitrag, dies gilt auch für GZ_i . Aus diesem Grund können beide Werte als Indikator für die Identifikation der relevanten Handlungselemente genutzt werden [Bal04]. Die Anzahl der betrachteten Elemente hängt von der Gewichtung, den Zielen und der Größe des SE-Einführungsprojekts ab.

4.4.3 Identifikation der Ist-Reifegrade

Wie in Tabelle 4-1 dargestellt, liegen je Handlungselemente mehrere mögliche Reifegrade vor. Ein niedriger Reifegrad steht dabei für eine fehlende bzw. wenig reife Umsetzung des jeweiligen Handlungselements. Ein hoher Reifegrad steht für eine elaborierte Umsetzung. Der erste Reifegrad beschreibt das völlige Fehlen des jeweiligen Handlungselements, die folgenden Reifegrade die unterschiedlichen Ausprägungen. Im Gestaltungsfeld Prozesse ergeben sich jeweils 6 Leistungsstufen in Anlehnung an CMMI und SPICE. So wird sichergestellt, dass Prozessanalysen, die im Unternehmen bereits verfügbar sind, auch dem Reifegradmodell zugeordnet werden können. Alternativ kann eine im Zuge der Analyse des Ist-Reifegrades durchgeführte Prozessanalyse im Unternehmen für andere Zwecke weiter genutzt werden. In den verbleibenden Gestaltungsfeldern besteht kein Anlass zur Konformität mit CMMI oder SPICE. Im Gestaltungsfeld „Infrastruktur – Sonstiges“ wird lediglich zwischen vier Reifegraden unterschieden.

Nachdem die relevanten Prozessbereiche bekannt sind (vgl. Kapitel 4.4.2), gilt es für alle Handlungselemente den Leistungsstand der betrachteten Organisation zu bestimmen. Das Reifegradmodell stellt dazu konkrete Beschreibungen der Reifegrade je Handlungsfeld bereit. Zur Identifikation des Leistungsstands wird der **Status quo** im Unternehmen **mit den beschriebenen Reifegraden verglichen**, der treffende Reifegrad wird ausgewählt. Sind in unterschiedlichen Sub-Organisationen verschiedene Reifegrade erreicht worden, so zählen jeweils die niedrigsten Werte, da das für die gesamte Organisation der kleinste gemeinsame Nenner ist. Im Folgenden werden die Reifegrade nach Gestaltungsbereichen unterteilt vorgestellt. Dabei zeigt jeweils eine Tabelle die unterschiedlichen Reifegradbeschreibungen. Ein Handlungselement wird exemplarisch näher beschrieben.

Gestaltungsfeld Grundlagen, Handlungselemente und Reifegrade: Das Gestaltungsfeld Grundlagen beschreibt die Grundlagen des Systems Engineerings. Es umfasst, wie in Tabelle 4-1 dargestellt, die z. T. weichen Handlungselemente *Denkweise*, *Wissensbasis*, *SE-Kultur* und *Tailoring-Konzept*. Das Handlungselement *Denkweise* beschreibt die Verbreitung und Nutzung SE-typischer Denkweisen in der betrachteten Organisation – hierzu gehören beispielsweise systemisches, interdisziplinäres Denken oder Ansätze wie Systems Thinking. Das Handlungselement *Wissensbasis* bezieht sich auf das Vorhandensein, die Nutzung und die Qualität einer gemeinsamen Wissensbasis für die Produktentwicklung. Das Handlungselement *SE-Kultur* gleicht die Kultur einer Organisation mit den Grundsätzen des Systems Engineerings ab, insbesondere der Zusammenarbeitskultur.

Das Handlungselement *Tailoring-Konzept* beschreibt das Vorgehen zur projektspezifischen Adaption der Unternehmensprozesse. Beispielhaft ist das Handlungselement Tailoring-Konzept hervorzuheben. Hierfür werden im Folgenden exemplarisch die möglichen Reifegrade beschrieben: Bei Reifegrad „Individuell / Ad Hoc“ wird die Adaption des Prozesses für das Projekt ad hoc vom Projektleiter oder Projektmitgliedern auf Basis ihrer persönlichen Erfahrung durchgeführt. Eine Konformität mit Normen und Standards kann nicht gewährleistet werden. Auf der höchsten Ausbaustufe „Assistiert“ wird das Tailoring auf Basis einer formalen Prozessbeschreibung und dem jeweiligen Projektkontext automatisiert durchgeführt. Wissen zum Tailoring ist in diesem Fall im Projektteam nicht notwendig. Die Konformität zu Normen und Standards ist automatisch sichergestellt. Formale Prozessbeschreibungen sind hierfür zwingend notwendig.

Tabelle 4-1: Handlungselemente und Reifegrade im Gestaltungsfeld Grundlagen

Handlungselement	Reifegrad				
Denkweise	nicht vorhanden	Individuell / Ad Hoc	Fragmentiert	Etabliert	Optimiert
Verbreitung und Nutzung SE-Typischer Denkweisen in der Organisation	Kein systemisches und disziplinübergreifendes Denken vorhanden.	Systemisches und disziplinübergreifendes Denken nur bei Einzelpersonen vorhanden.	Einzelne Bereiche und/oder Disziplinen haben die gewünschten Denkweisen verinnerlicht.	Im gesamten Unternehmen sind die grundlegenden SE-Denkweisen verinnerlicht.	Die gewünschten Denkweisen werden im Unternehmen kontinuierlich gefördert und optimiert.
Wissensbasis	nicht vorhanden	Individuell / Ad Hoc	Fragmentiert	Etabliert	Optimiert
Wissensbasis für SE-spezifisches Fachwissen inkl. Zugängigkeit	Keine Wissensbasis für SE-spezifisches Fachwissen vorhanden.	Wissen ist individuell vorhanden und ggfs. Dokumentiert.	Spezielle Inhalte sind Dokumentiert und innerhalb weniger Bereiche verfügbar.	Eine (unternehmensintern) öffentliche Wissensbasis ist etabliert, die Qualität der Inhalte grundlegend gesichert.	Die Wissensbasis ist etabliert und wird kontinuierlich optimiert.
SE-Kultur	Kultur gegen SE	Individuell / Ad Hoc	Fragmentiert	Etabliert	Optimiert
Verbreitung einer Kultur der Zusammenarbeit (über Disziplinen und Lebenszyklus) in der Organisation	Die aktuelle Unternehmenskultur widerspricht den Grundzügen des SE entschieden. Es herrscht eher ein gegeneinander als ein miteinander.	Eine Kultur der Zusammenarbeit ist nur vorhanden, wenn sich beteiligte einen unmittelbaren Vorteil dadurch verschaffen können.	Einzelne Bereiche und/oder Disziplinen haben die gewünschte Kultur verinnerlicht.	Im gesamten Unternehmen wird eine zu SE passende Kultur gelebt. Vorgesetzte leben die Kultur vor, eine Dokumentation beschreibt sie, Mitarbeiter leben Sie nach.	Die gewünschte Kultur wird im Unternehmen kontinuierlich gefördert und optimiert.
Tailoring-Konzept	nicht vorhanden	Individuell / Ad Hoc	Simple Auswahllogik	Tailoring-Regelwerk	Assistiert
Konzept zur Ableitung bedarfsgerechter Prozessausprägungen aus den unternehmensweiten Standardprozessen.	Tailoring ist nicht gestattet bzw. wird nicht genutzt.	Projektleiter oder Projektmitglieder passen den Projektprozess auf Basis persönlicher Erfahrungen an. Konformität mit Regeln und Standards ist nicht gewährleistet.	Ein einfaches Tailoringkonzept ermöglicht die Auswahl eines vordefinierten Prozesstyps auf Basis weniger Parameter (Portfolio).	Ein Tailoring-Regelwerk (TR) beschreibt Tail.-Kriterien und den Einfluss von Ausprägungen auf den Soll-Prozess. Die Instanziierung erfolgt per Hand.	Auf Basis einer formalen Prozessbeschreibung und des TR wird für jeden individuellen Projekt-kontext automatisiert eine Prozessinstanz erzeugt.

Gestaltungsfeld Organisation, Handlungselemente und Reifegrade: Das Gestaltungsfeld Organisation beschreibt die Zusammenhänge von SE mit der Organisation. Tabelle

4-2 beschreibt dies näher. Hierzu werden folgende Handlungselemente betrachtet: *Reichweite Rollout*, *Schulungskonzept*, *SE-Aufbauorganisation* und *SE-Anreizsystem*. Die Reichweite Rollout beschreibt die Breite der Verbreitung von Systems Engineering von einzelnen Bereichen bis hin zur gesamten Wertschöpfungskette. Das Handlungselement Schulungskonzept deckt die Professionalisierung der Wissensvermittlung an die Mitarbeiter ab. Die SE-Aufbauorganisation beschreibt den Grad der Einbindung von SE-relevanten Rollen in der Organisation und damit verbunden das Vorhandensein einer bewussten SE-Organisation.

Tabelle 4-2: *Handlungselemente und Reifegrade im Gestaltungsfeld Organisation*

Handlungselement	Reifegrad				
	nicht vorhanden	Einzelbereich	Entwicklungs-bereich	Unternehmens-weit	Wertschöpfungs-kette
Reichweite Rollout Umfang der SE-Lösung gemessen an den betroffenen (Teil-)Organisationen	SE wird im Unternehmen nicht eingesetzt.	Einzelne Unternehmensbereiche nutzen SE-Ansätze, jedoch nicht durchgängig.	SE wird im gesamten Engineering eingesetzt, jedoch nicht im gesamten Unternehmen.	SE ist im gesamten Unternehmen ausgerollt und in Anwendung.	Die SE-Aktivitäten erstrecken sich über die Unternehmensgrenzen hinweg, z.B. auch zu Lieferanten und Partnern.
Schulungskonzept SE-Schulungskonzept für Mitarbeiter	nicht vorhanden Es werden keine SE-Schulungen geplant oder durchgeführt	Individuell / Ad Hoc Es werden individuell, jedoch ohne übergreifenden Plan SE-Schulungen durchgeführt (intern oder extern).	Fragmentiert Zu einzelnen Themen und/oder in einzelnen Bereichen existiert ein SE-Schulungskonzept welches gelebt wird.	Etabliert Es existiert ein etabliertes Unternehmensweites SE-Schulungskonzept, das verschiedene Inhalte und Erfahrungsstufen abdeckt.	Optimiert Es existiert ein etabliertes und kontinuierlich optimiertes Unternehmensweites SE-Schulungskonzept.
SE-Aufbauorganisation Verankerung von SE in der Aufbauorganisation des Unternehmens	nicht vorhanden SE ist nicht bei der Planung der Aufbauorganisation beachtet worden.	De-Facto Organisation Einzelpersonen übernehmen, jedoch ohne formale Rolle, SE-bezogene Aufgaben.	Organisation initiiert SE-spezifische Organisationsanpassungen sind initiiert, Rollen sind definiert, erste Rollen sind besetzt.	Organisation etabliert SE spezifische Rollen und ggfs. Gruppen bzw. Abteilungen sind geschaffen, die Zusammenarbeit mit anderen Bereichen ist etabliert.	Optimiert Die SE-Aufbauorganisation wird kontinuierlich auf den Bedarf hin optimiert, z.B. durch die Einrichtung von SE-Services, etc.
SE-Anreizsystem Anreizsystem zur Förderung von SE-Konformem Verhalten	nicht vorhanden Es gibt kein (für SE geeignetes) Anreizsystem.	Individuell / Ad Hoc Einzelne Vorgesetzte schaffen individuelle Anreize.	Fragmentiert Ein SE-geeignetes Anreizsystem ist in Teilen des Unternehmens installiert.	Etabliert Ein SE-geeignetes Anreizsystem ist im Unternehmen etabliert.	Optimiert Ein SE-geeignetes Anreizsystem wird kontinuierlich optimiert.

Exemplarisch wird das Handlungselement SE-Anreizsystem hervorgehoben: Es beschreibt, inwiefern das Anreizsystem im Unternehmen geeignet ist, um ein SE-konformes Verhalten zu unterstützen. Eine leistungsabhängige Vergütung, die Abteilungsziele vor den Gesamterfolg einer Entwicklung stellt, stört die SE-Anwendung eher, da interdisziplinäre Kollaboration und ganzheitliche Denkweise unter Umständen finanziell sanktioniert anstatt gefördert werden. Dies wäre z. B. der Fall, wenn eine für die Abteilung un-

günstigere Entscheidung zu einem besseren Gesamtergebnis führt. Bei Reifegrad „Individuell / Ad Hoc“ schaffen einzelne Vorgesetzte geeignete Anreize, gegebenenfalls auch nur für einzelne Mitarbeiter. Auf der höchsten Ausbaustufe „Optimiert“ wird ein geeignetes Anreizsystem in der gesamten betrachteten Organisation genutzt und durchgehend optimiert.

Gestaltungsfeld Prozesse, Handlungselemente und Leistungsstufen: Im Rahmen der Prozesse unterscheidet das Reifegradmodell prinzipiell nur zwei Handlungselemente, die sich je betrachtetem Prozessschritt wiederholen. Die betrachteten Prozessschritte orientieren sich an ISO 15288, können und sollten aber an die realen (oder angestrebten) Prozessbereiche im jeweiligen Anwenderunternehmen angepasst werden. Tabelle 4-3 enthält alle Handlungselemente und Leistungsstufen des Gestaltungsfelds Grundlagen.

Tabelle 4-3: Handlungselemente und Reifegrade im Gestaltungsfeld Prozesse

Handlungselement	Reifegrad					
	nicht vorhanden	Ad Hoc / undefiniert	Individuell gesteuert	Definiert und Etabliert	Quantitativ Vorhersehbar	Optimiert
SE Rollen u. Prozesse						
SE-Relevanter Prozess inkl. zugehöriger Rollen	Der Prozess wird nicht ausgeführt.	Notwendige Aufgaben werden "irgendwie" durchgeführt. ("Base Practices")	Konkrete Ziele für Artefakte (Word Products) und Leistung werden vorgegeben, jedoch fehlt der übergreifende Prozess.	Die SE-Prozesse sind unternehmensweit definiert und etabliert.	Der Prozess wird anhand quantitativer Kenngrößen analysiert und gesteuert.	Der Prozess wird auf Basis quantitativer Kenngrößen kontinuierlich optimiert.
MBSE (inkl. Sprache und Werkzeug)						
Einsatz von MBSE Methoden, Sprachen und Werkzeugen für den betrachteten Prozess	MBSE wird nicht genutzt.	Modelle werden sporadisch und individuell eingesetzt um SE-Aufgaben zu unterstützen.	Grundlegende Sprach-, Tool- und Methodenentscheidungen gelten durchgängig und werden üblicherweise als grobe Richtschnur befolgt.	Tools und Methoden sind angepasst, DSLs wurden abgeleitet. Die Vorgaben werden befolgt, individuelle Anpassungen erfolgen nur als Konforme anreicherung.	Digitale Assistenz unterstützt bei Erstellung, Analyse, Qualitätssicherung, Auswertung, etc. Sie optimieren die nötige Zeit und sichern Qualität.	Methoden, Sprachen und Werkzeuge des MBSE werden auf Basis quantitativer Kenngrößen kontinuierlich optimiert.

Für die relevanten Prozessschritte werden jeweils die beiden Handlungselemente *SE-Rollen und -Prozesse* und *MBSE* betrachtet. SE-Rollen und -Prozesse bezieht sich dabei auf das klassische dokumentenorientierte SE und die hiermit verbundenen Prozesse und Rollen. Die Rollen beziehen sich dabei nicht nur auf neue SE-Rollen, sondern auch auf die Erweiterung bestehender Rollen mit SE-Inhalten. Das Handlungselement *MBSE* beschreibt den zum jeweiligen SE-Prozess passenden Einsatz von Modellen zur Unterstützung des Prozessschrittes inklusive der dafür notwendigen Methoden, Sprachen und (IT-)Werkzeuge. Das Handlungselement MBSE wird im Folgenden exemplarisch näher beschrieben: Auf Stufe „Ad Hoc / undefiniert“ werden Modelle nur sporadisch und individuell eingesetzt, um SE-Aufgaben zu unterstützen. Werkzeuge und Sprache sind nicht standardisiert. Auf dem höchsten Reifegrad „Optimiert“ sind Sprachen, Methoden und Werkzeuge definiert und werden gemäß der Definition genutzt. Zudem unterstützen digitale Assistenzfunktionen die Anwendung. Modelle, Methoden, Sprachen und Werkzeuge werden auf Basis quantitativer Kenngrößen kontinuierlich weiterentwickelt. Da MBSE per Definition der Einsatz von Modellen zur Unterstützung des SE ist [Inc14],

sollte der MBSE-Reifegrad nicht höher als der zugehörige SE-Reifegrad sein. Für Zielreifegrade wird dies im Rahmen der Zieldefinition sichergestellt (vgl. Kapitel 4.4.4).

Gestaltungsfeld Infrastruktur, Handlungselemente und Reifegrade: Das Gestaltungsfeld Infrastruktur unterteilt sich in zwei Bereiche. Es beschreibt zum einen die (IT-)Werkzeug-Infrastruktur, zum anderen sonstige Infrastruktur.

Tabelle 4-4 beschreibt den Aspekt der Werkzeuge näher. Die Werkzeug-Infrastruktur bezieht sich dabei nicht auf einzelne Werkzeuge, die im Rahmen der MBSE-Anwendung verwendet werden (vergleiche dazu Gestaltungsfeld Prozesse), sondern auf die Vernetzung dieser Werkzeuge untereinander sowie auf die Integration mit anderen Werkzeugbereichen im Unternehmen. Hieraus ergeben sich die Handlungselemente *SE-Toolintegration*, *ALM/PLM-Integration*, *Simulations-Integration* und *ERP-Integration*. Diese Handlungselemente beschreiben jeweils die Güte der Integration der SE-Werkzeuge mit einer weiteren Toolgruppe (anderen SE-Tools, ALM/PLM-Werkzeugen, etc.).

Tabelle 4-4: Handlungselemente und Reifegrade im Gestaltungsfeld Infrastruktur – Werkzeuge

Handlungselement	Reifegrad				
	nicht vorhanden	Einzelwerkzeug unidirektional	Einzelwerkzeug synchron	Kopplung im Cluster	Vollständige Integration
SE-Toolintegration	nicht vorhanden	Einzelwerkzeug unidirektional	Einzelwerkzeug synchron	Kopplung im Cluster	Vollständige Integration
Verfeinerung MBSE-Werkzeuge über Prozesse hinweg: Integration dieser Werkzeuge untereinander	Vorhandene Werkzeuge sind ausschließlich als Insellösungen verfügbar.	Für einzelne Werkzeuge gibt es eine unidirektionale Kopplung.	Einzelne Werkzeuge sind bidirektional gekoppelt.	Werkzeuge einzelner Prozesse (z.B. Architektur) sind durchgängig gekoppelt.	Alle MBSE-Werkzeuge sind miteinander gekoppelt.
ALM/PLM-Integration	nicht vorhanden	Einzelwerkzeug unidirektional	Einzelwerkzeug synchron	Kopplung im Cluster	Vollständige Synchronisation
Verfeinerung MBSE-Werkzeuge: Integration zu ALM/PLM-Umgebung	Keine Kopplung von MBSE-Werkzeugen in die ALM/PLM-Umgebung.	Einzelne Werkzeuge können Inhalte an die ALM/PLM-Umgebung übertragen.	Einzelne Werkzeuge sind bidirektional mit der ALM/PLM-Umgebung gekoppelt.	Werkzeuge einzelner Prozesse (z.B. Architektur) sind mit der ALM/PLM-Umgebung gekoppelt.	Alle MBSE-Werkzeuge sind mit der ALM/PLM-Umgebung gekoppelt. (Autom. Vollst. SE-Toolintegration)
Simulations-Integration	nicht vorhanden	Einzelwerkzeug unidirektional	Einzelwerkzeug synchron	Kopplung im Cluster	Vollständige Synchronisation
Verfeinerung MBSE-Werkzeuge: Integration zu Simulationstools	Keine Kopplung von MBSE-Werkzeugen mit Simulationstools.	Einzelne Werkzeuge können Inhalte an einzelne Simulationstools übertragen.	Einzelne Werkzeuge sind bidirektional mit einzelnen Simulationstools gekoppelt.	Werkzeuge einzelner Prozesse (z.B. Architektur) sind mit der ALM/PLM Umgebung gekoppelt.	Alle MBSE-Werkzeuge sind mit relevanten Simulationstools gekoppelt.
ERP-Integration	nicht vorhanden	Einzelwerkzeug unidirektional	Einzelwerkzeug synchron	Kopplung im Cluster	Vollständige Synchronisation
Verfeinerung MBSE-Werkzeuge: Integration zum ERP und damit verbundenen Prozessen (ECO, ...)	Keine Kopplung von MBSE-Werkzeugen in die ERP-Umgebung.	Einzelne Werkzeuge können Inhalte an die ERP-Umgebung übertragen.	Einzelne Werkzeuge sind bidirektional mit der ERP-Umgebung gekoppelt.	Werkzeuge einzelner Prozesse (z.B. Architektur) sind mit der ERP-Umgebung gekoppelt.	Alle MBSE-Werkzeuge sind mit der ERP-Umgebung gekoppelt.

Exemplarisch wird das Handlungsfeld ALM/PLM-Integration hervorgegriffen: Während auf Reifegrad „nicht vorhanden“ keinerlei Integration vorhanden ist, können auf Reifegrad „Einzelwerkzeug unidirektional“ einzelne SE- bzw. MBSE-Werkzeuge Informationen an die ALM/PLM Umgebung im Unternehmen übertragen; der umgekehrte Weg ist nicht möglich. Ist der höchste Reifegrad „Vollständige Synchronisation“ erreicht, sind alle SE-Werkzeuge mit der ALM/PLM-Umgebung integriert und können bidirektional Informationen austauschen. Hieraus ergibt sich automatisch, dass sie auch mit anderen SE- bzw. MBSE-Werkzeugen Informationen über das ALM/PLM austauschen können, sodass automatisch auch für das Handlungselement „SE-Toolintegration“ der höchstmögliche Reifegrad vorliegen muss.

Tabelle 4-5 beschreibt den Aspekt der sonstigen Infrastruktur näher. Hier wird zwischen den Handlungsfeldern *Räumlichkeiten* und *Moderationsmaterialien* unterschieden. Das Handlungselement *Räumlichkeiten* bezieht sich auf die Verfügbarkeit von geeigneten digitalen oder physikalischen Räumlichkeiten, die die Zusammenarbeit im Sinne des SE unterstützen, also beispielsweise für Workshops geeignet sind. *Moderationsmaterialien* bezieht sich auf die Verfügbarkeit von Moderationsmaterialien, die in diesen Räumlichkeiten oder in anderem Kontext verwendet werden können. Exemplarisch werden die Reifegrade für die Räumlichkeiten näher beschrieben: Der Reifegrad „Verfügbarkeit und Nutzbarkeit eingeschränkt“ beschreibt einen typischen Zustand. Es gibt Besprechungsräume in zu geringer Anzahl und ihre Nutzbarkeit ist eingeschränkt, beispielsweise, weil das Mobiliar nicht den flexiblen Wechsel zwischen Besprechung und Workshop zulässt. Im höchsten Reifegrad „Verfügbar und nutzbar“ sind ausreichende Raumkapazitäten vorhanden und die Ausstattung der Räume erlaubt die Nutzung für die im Unternehmen relevanten SE-Prozesse und -Methoden.

Tabelle 4-5: Handlungselemente und Reifegrade im Gestaltungsfeld Infrastruktur – Sonstige

Handlungselement	Reifegrad			
	nicht vorhanden	Verfügbarkeit u. Nutzbarkeit eingeschränkt	Eingeschränkt verfügbar, jedoch nutzbar	Verfügbar und nutzbar
Räumlichkeiten	nicht vorhanden	Verfügbarkeit u. Nutzbarkeit eingeschränkt	Eingeschränkt verfügbar, jedoch nutzbar	Verfügbar und nutzbar
Verfügbare Bereiche und Räume (Physisch und Digital), welche für die SE-Arbeit geeignet sind	Die vorhandenen Räumlichkeiten sind nicht hinsichtlich SE genutzt.	Es gibt vereinzelt Räumlichkeiten, z.B. zur interdisziplinären Zusammenarbeit oder Workshops, die Nutzbarkeit ist jedoch eingeschränkt.	Es gibt gut nutzbare, jedoch nicht (ausreichend) verfügbare Räumlichkeiten.	Es gibt nutzbare und verfügbare Räumlichkeiten.
Moderationsmaterialien	nicht vorhanden	Verfügbarkeit u. Nutzbarkeit eingeschränkt	Eingeschränkt verfügbar, jedoch nutzbar	Verfügbar und nutzbar
Verfügbare Moderationsmaterialien, welche SE unterstützen	Es gibt keine geeigneten Moderationsmaterialien.	Es gibt vereinzelt und eingeschränkt nutzbare Moderationsmaterialien.	Es gibt gut nutzbare, jedoch nicht (ausreichend) verfügbare Moderationsmaterialien.	Es gibt nutzbare und verfügbare Moderationsmaterialien

Tabelle 4-6 zeigt exemplarisch die Darstellung des Ist-Standes anhand des Reifegradmodells. Im vorliegenden Beispiel werden lediglich in der Elektronik-Entwicklung erste Aspekte des SE betrachtet, weshalb die aktuelle Reichweite des Rollouts auf einen Einzelbereich beschränkt ist. Einzelne Mitarbeiter haben von Extern die nötigen Denkweisen mitgebracht, jedoch noch nicht in weitere Köpfe transferiert. Das völlige Fehlen einer Formalisierung des SE wird z. B. in der fehlenden SE-Aufbauorganisation und dem fehlenden Schulungskonzept deutlich.

Tabelle 4-6: Bewertung und Darstellung des Ist-Stand am Reifegradmodell (Ausschnitt)

Gestaltungsfeld	Handlungselement	Reifegrad				
Grundlagen	Denkweise	nicht vorhanden	Individuell / Ad Hoc	Fragmentiert	Etabliert	Optimiert
	Wissensbasis	nicht vorhanden	Individuell / Ad Hoc	Fragmentiert	Etabliert	Optimiert
	SE-Kultur	Kultur gegen SE	Individuell / Ad Hoc	Fragmentiert	Etabliert	Optimiert
	Tailoring-Konzept	nicht vorhanden	Individuell / Ad Hoc	Simple Auswahllogik	Tailoring-Regelwerk	Assistiert
Organisation	Reichweite Rollout	nicht vorhanden	Einzelbereich	Entwicklungsbereich	Unternehmensweit	Wertschöpfungskette
	Schulungskonzept	nicht vorhanden	Individuell / Ad Hoc	Fragmentiert	Etabliert	Optimiert
	SE-Aufbauorganisation	nicht vorhanden	Verantwortliche definiert	Verantwortliche Stellen besetzt	Support verfügbar	Service verfügbar
	SE-Anreizsystem	nicht vorhanden	Individuell / Ad Hoc	Fragmentiert	Etabliert	Optimiert

4.4.4 Definition der Zielreifegrade

Das Reifegradmodell unterstützt auch bei der Definition geeigneter Zielreifegrade, die im Rahmen des betrachteten Einführungsprojekts angestrebt werden. Hierzu wird in einem ersten Schritt mithilfe der **Zielbeitragsmatrix der Reifegrade** erarbeitet, welcher Reifegrad einen möglichst hohen Mehrwert bei möglichst geringem Aufwand generiert. Dabei werden alle Handlungselemente der Gestaltungsfelder Grundlagen, Organisation und Infrastruktur betrachtet. Für das Gestaltungsfeld Prozesse werden die Handlungsfelder betrachtet, die im Rahmen der Identifikation relevanter Prozessbereiche (vgl. Kapitel 4.4.2) als relevant definiert wurden. Im zweiten Schritt wird die **Plausibilität** der Zielreifegrade sichergestellt. Beide Schritte werden im Folgenden vorgestellt.

Schritt 1: Zielbeitragsmatrix der Reifegrade

Für die Bestimmung der Zielreifegrade dient in Anlehnung an BALÁZOVÁ die Zielbeitragsmatrix der Reifegrade (siehe Bild 4-8). Zentrale Fragestellung der Zielbeitragsmatrix ist: „Wie stark trägt die Leistungsstufe i des Handlungselements (Zeile) zum Verbesserungsziel j (Spalte) bei?“ Die Bewertung erfolgt anhand einer 4-Stufigen Skala. „0“ bedeutet, dass die Leistungsstufe keinen Beitrag zum Verbesserungsziel leistet. „1“ bis „3“ stehen für einen steigenden Beitrag, wobei „1“ einen schwachen und „3“ einen starken Beitrag bedeutet. Im Beispiel aus Bild 4-8 hat die Leistungsstufe 2 „Rollout im Entwicklungsbereich“ für das Handlungselement *Reichweite Rollout* einen starken Beitrag zum

Ziel „Komplexität beherrschen“, während das Handlungselement *SE-Anreizsystem* unabhängig von der Leistungsstufe keinen Beitrag zum Ziel „Umsatz erhöhen“ leistet.

In der Matrix werden tendenziell die höchsten Leistungsstufen auch die höchsten Zielbeiträge leisten. Für ein realistisch und erfolgreich durchzuführendes Einführungsprojekt darf die Größe der Veränderung jedoch nicht zu groß gewählt werden (vgl. Kapitel 3.3.1). Daher ist das Ziel die Auswahl eines möglichst geringen Zielreifegrads, der gleichzeitig einen möglichst hohen Mehrwert hinsichtlich der verfolgten Ziele liefert. Dabei liegt die Annahme zugrunde, dass die spätere Optimierung eines eingeführten und akzeptierten SE-Ansatzes einfacher durchführbar ist als die erstmalige Einführung.

Zielbeitragsmatrix der Reifegrade				Verbesserungsziel				Nr.	Umsatz erhöhen	Zeit einsparen	Komplexität beherrschen	Redundanz reduzieren	Gewichtete Wirkung (GW)	GW-Fortschritt im Vergleich zur vorherigen Stufe	Rang innerhalb des Handlungselements
Kategorie	Element	Leistungsstufe	P _z	1	2	3	10								
Fragestellung: "Wie stark trägt die Leistungsstufe i des Handlungselements (Zeile) zum Verbesserungsziel j (Spalte) bei?" Bewertungsskala: 0 = kein Beitrag 1 = schwacher Beitrag 2 = mittlerer Beitrag 3 = starker Beitrag															
				1,1	1,9	2,0	...	1,4							
Organisation	Reichweite Rollout	Einzelbereich	1	1	0	1	1	11,9	11,9	2					
		Entwicklungsbereich	2	2	1	3	2	27,6	15,7	1					
		Unternehmensweit	3	3	2	3	2	33,4	5,8	3					
		Wertschöpfungskette	4	3	2	3	2	33,4	0	4					
	Schulungskonzept	Individuell/Ad hoc	1	1	0	1	1	7,7	7,7	3					
		Fragmentiert	2	1	2	2	1	15,8	8,1	2					
		Etabliert	3	1	3	3	2	24,3	8,5	1					
		Optimiert	4	1	3	3	2	30,9	6,6	4					
	SE-Aufbau-Organisation	Verantwortliche definiert	1	0	0	1	1	5,6	5,6	3					
		Stellen besetzt	2	1	2	2	1	24,6	19	1					
		Support verfügbar	3	1	3	3	1	33,7	9,1	2					
		Service verfügbar	4	1	3	3	1	36,9	3,2	4					
	SE-Anreizsystem	Individuell/Ad hoc	1	0	0	1	1	5,2	5,2	3					
		Fragmentiert	2	0	1	1	1	12,9	7,7	2					
		Etabliert	3	0	2	2	1	23,1	10,2	1					
		Optimiert	4	0	2	2	1	23,1	0	4					

Bild 4-8: Beispiel einer Zielbeitragsmatrix der Reifegrade (Auszug)

Höhere Leistungsstufen können dementsprechend im Rahmen der kontinuierlichen Optimierung außerhalb des Einführungsprojekts angestrebt werden. Zur Auswahl der geeigneten Ziel-Leistungsstufen werden drei Werte berechnet. **GW_i** bezeichnet die **gewichtete Wirkung des Reifegrads**. Sie ergibt sich wie in Gleichung 4-2 dargestellt aus der Gewichtung der Ziele sowie dem Summenprodukt der Beiträge der betrachteten Leistungsstufe zu den Zielen.

$$GW_i = \sum_{z=1}^{A_z} B_{i,z} * P_z$$

Gleichung 4-2: Berechnung der gewichteten Wirkung GW_i

GW_i : Gewichtete Wirkung der Leistungsstufe i eines Handlungselements

B_i : Beitrag der Leistungsstufe i zum Ziel

P_z : Priorität P des Ziels z (Rangindex oder Priorität, je nach Wunsch)

A_z : Anzahl betrachtete Ziele (im Beispiel 10)

Im nächsten Schritt wird GW_i , der **Fortschritt der gewichteten Wirkung**, im Vergleich zur vorherigen Stufe bestimmt. Dieser ergibt sich, wie in Gleichung 4-3 dargestellt, aus dem Delta zwischen der gewichteten Wirkung der Leistungsstufe und der jeweils vorherigen Leistungsstufe. Für Leistungsstufe 0 wird angenommen, dass diese eine gewichtete Wirkung von 0 hat.

$$GWF_i = GW_i - GW_{i-1}$$

Gleichung 4-3: Berechnung des Fortschritts der gewichteten Wirkung GWF_i

Abschließend wird der **Rang** der Reifegrade innerhalb ihres jeweiligen Handlungsfelds auf Basis von GWF_i bestimmt. Die Leistungsstufe mit dem höchsten Fortschritt der gewichteten Wirkung stellt den Zielreifegrad des Handlungselements dar. Im Beispiel aus Bild 4-8 sind dies die Leistungsstufe 2 „Entwicklungsbereiche“ für die *Reichweite des Rollouts*, die Leistungsstufe 3 „Etabliert“ für das *Schulungskonzept*, etc.

Schritt 2: Prüfung der Plausibilität

Auf Basis der Zielbeitragsmatrix der Reifegrade liegt ein Vorschlag für mögliche Zielreifegrade vor. Diesen gilt es im nächsten Schritt auf Plausibilität zu prüfen. Dazu wird der Zielreifegrad zunächst mit dem Ist-Reifegrad abgeglichen: Wenn der Zielreifegrad höher als der Ist-Reifegrad ist, kann dieser Zielreifegrad weiterverwendet werden. Ist der Zielreifegrad gleich dem Ist-Reifegrad, gilt es zu hinterfragen, ob der Ist-Reifegrad bereits zufriedenstellend ist oder ob stattdessen der nächsthöhere Zielreifegrad zu wählen ist. Wenn der Zielreifegrad niedriger als der Ist-Reifegrad ist, gilt es das Ergebnis kritisch zu hinterfragen. Im Rahmen der SE-Einführung sollte in dieses Handlungselement keine weitere Kapazität gesteckt werden. Für die Handlungselemente der Gestaltungsfelder Grundlagen, Organisation und Infrastruktur ist die Plausibilisierung an dieser Stelle abgeschlossen. Für das Gestaltungsfeld Prozesse muss jedoch noch eine weitere Prüfung durchgeführt werden:

Da der MBSE-Zielreifegrad nicht höher sein darf als der SE-Zielreifegrad des jeweiligen Prozesses, muss hier unter Umständen eine Korrektur eines Zielreifegrads erfolgen. Dies ist der Fall, wenn nach obigem Vorgehen in einem Prozessschritt für MBSE ein höherer

Reifegrad gefordert wird als für SE. Zur Plausibilisierung muss entweder der Zielreife-grad des SE auf dieselbe Stufe wie für MBSE *erhöht* werden oder, der MBSE Zielreife-grad muss auf den SE-Grad *abgesenkt* werden. *Bild 4-9* stellt diesen Zusammenhang dar. Nach der Durchführung dieser Prüfung liegen die Zielreifegrade vor und das Vorgehen im Rahmen des Reifegradmodells ist abgeschlossen.

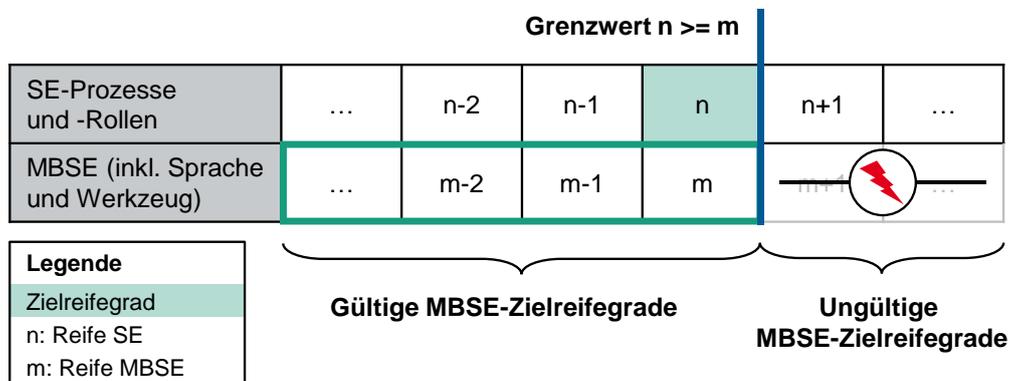


Bild 4-9: Sonderfall Zielreifegrade für MBSE im Gestaltungsfeld Prozesse

4.5 Hilfsmittel zur Umsetzung des Operationalisierungskonzepts

Die im Folgenden vorgestellten Hilfsmittel unterstützen bei der Anwendung des Operationalisierungskonzepts. Die Reihenfolge der Vorstellung ergibt sich aus der Verwendung der Hilfsmittel im Operationalisierungskonzept. Zunächst werden in Kapitel 4.5.1 die Hilfsmittel vorgestellt, die in allen Phasen des Vorgehens Verwendung finden. Hilfsmittel zur Unterstützung der Initialisierung der SE-Einführung werden in Kapitel 4.5.2 beschrieben. Kapitel 4.5.3 stellt alle Hilfsmittel zur Nutzung in der Phase „Einführung planen“ dar. Die Hilfsmittel für die Phasen „Roadmap umsetzen“ und „Rollout und Verfestigung“ werden gemeinsam in Kapitel 4.5.4 beschrieben. *Bild 4-10* bietet eine Übersicht über sämtliche Hilfsmittel. Das Hilfsmittel „Reifegradmodell“ wurde aufgrund seiner besonderen Bedeutung separat in Kapitel 4.4 vorgestellt, alle weiteren Hilfsmittel werden nachfolgend beschrieben.

Phase	Hilfsmittel
1) Einführung initialisieren	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Organisationsstruktur Einführungsjahr (T) ▪ Bedarfsanalyse (M) ▪ Zielgewichtung (M)
2) Einführung planen	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Reifegradmodell (M) ▪ Motivationsansatz (M) ▪ Einführungsansatz (M, S) ▪ Maßnahmenableitung (M, T)
3) Roadmap umsetzen und 4) Rollout und Verstetigung	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Organisationsbaukasten (M, T) ▪ Archetypen Organisation (S) ▪ Rollenkonzept (S)
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Meilenstein-Checkliste (C) ▪ Master Plan of Action (T) 	
Legende: C: Checkliste; M: Methode; S: Informativer Steckbrief; T: Template zum ausfüllen	

Bild 4-10: Übersicht der Hilfsmittel

4.5.1 Phasenübergreifende Hilfsmittel

Die phasenübergreifenden Hilfsmittel betreffen den gesamten Veränderungsprozess. Als solche werden im Folgenden **Checklisten** zum Abschluss der vier Phasen vorgestellt. Anschließend wird der **Master Plan of Action** beschrieben, welcher zur kontinuierlichen Dokumentation der Planung sowie des Fortschritts genutzt wird. Beide Hilfsmittel unterstützen das Change-Team während des gesamten Veränderungsprozesses.

Checklisten

Vor dem Übergang einer Phase der Einführung in die nächste kann das Change-Team mithilfe der Checkliste überprüfen, ob alle für die abzuschließende Phase wichtigen Aufgaben durchgeführt worden sind bzw. ob die entsprechenden Ergebnisse vorliegen. Für jede Phase liegt eine eigene Checkliste vor. Die Checklisten basieren auf den Change Management Steckbriefen nach KRÜGER und BACH [KB14] und erweitern diese um SE-spezifische Aspekte. Die Checklisten bieten somit eine detaillierte Übersicht über durchzuführenden Aufgaben und sollte bereits vor dem Erreichen des Meilensteins konsultiert werden. Aufgrund der Integration von CM- und SE-Aspekten fragt beispielsweise die Checkliste zur Initialisierung (s. Bild 4-11) neben Inhalten des Operationalisierungskonzepts auch weitere Aspekte ab, z. B. eine im Rahmen des Projektmanagements durchzuführende Stakeholderanalyse. Die entsprechenden Punkte können und sollten vom Change-Team als Anregung zur Projektgestaltung genutzt werden. Die vollständigen Checklisten können Anhang A6 entnommen werden.

Change-Management Checklisten		29.07.2019
Version 1.3		
Checkliste Initialisierung		
Frage		Erledigt?
Wurde ein Bedarf zur Veränderung im Sinne des SE identifiziert?		<input type="checkbox"/>
Welche konkreten Ziele für die Nutzung von SE wurden identifiziert?		<input type="checkbox"/>
Sind die Ziele intern und/oder extern getrieben? (z.B. über Normen, ...)		<input type="checkbox"/>
Wer wird verantwortlich sein? ...		

Bild 4-11: Meilensteincheckliste für die Phase Initialisierung (Auszug)

Master Plan of Action

Der Master Plan of Action dient als zentrales Dokument entlang des Veränderungsprozesses und verdichtet notwendige Informationen in einer Weise, die die Kommunikation über alle Führungsebenen hinweg erlaubt. Hierzu stellt der MPA die Ziele der Einführung, die Ausgangssituation und den gewünschten Zielzustand sowie Rahmenbedingungen dar. Kern des MPA sind die auf Basis dieser Informationen erarbeiteten Maßnahmen. Demzufolge besteht der MPA aus den sechs in Bild 4-12 dargestellten Bereichen *Ist-Reifegrad*, *Ziele der Einführung*, *Zielreifegrad*, *Motivations- und Einführungsansatz* sowie der *Umsetzungsroadmap*, welche die Maßnahmen in ihrer Abarbeitungsreihenfolge darstellt. Die einzelnen Inhalte des MPA werden im Laufe des Operationalisierungskonzepts erarbeitet und dann im MPA dokumentiert.

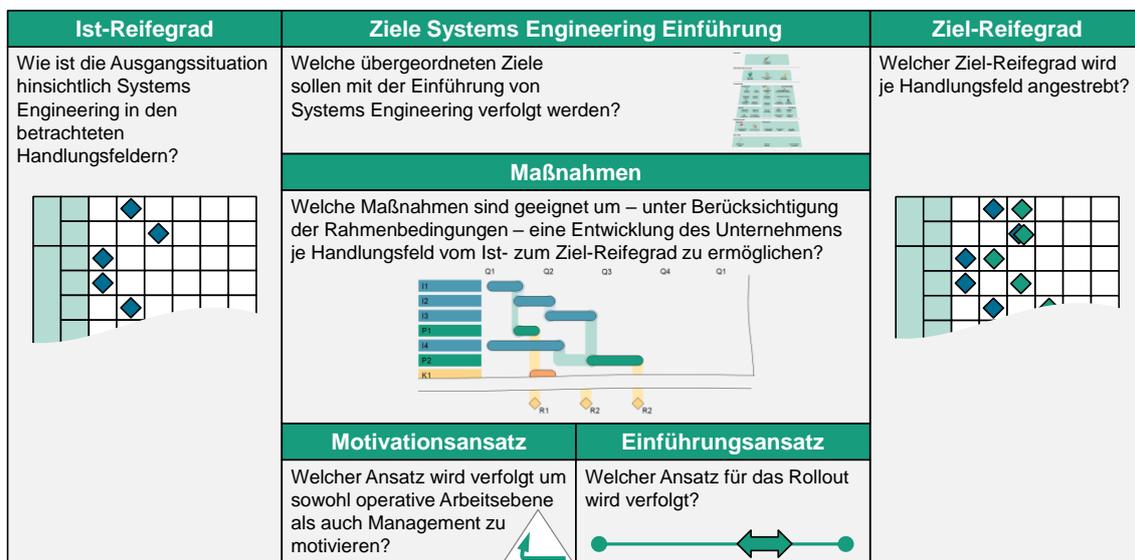


Bild 4-12: Übersicht des Master Plan of Action zur SE-Einführung

4.5.2 Hilfsmittel zu Phase 1: Einführung initialisieren

Die Hilfsmittel zur Initialisierung der Einführung unterstützen in der ersten Phase des Veränderungsprozesses. Hierfür wird zunächst ein Hilfsmittel zur Festlegung einer geeigneten **Organisationsstruktur für das Einführungsprojekt** vorgestellt. Anschließend folgen ein Hilfsmittel zur **Bedarfsanalyse und Zielfindung** sowie, darauf aufbauend, ein Hilfsmittel zur **Priorisierung von Zielen** für die gesamte SE-Einführung.

Organisationsstruktur für das Einführungsprojekt

Die SE-Einführung findet im Rahmen eines Einführungsprojekts oder -programms statt. Die hierfür benötigte Organisation wird **Change-Organisation** genannt und besteht in Anlehnung an die Rollen im Veränderungsprozess nach CONNER (vgl. Kap. 3.3.1.5) aus vier Bestandteilen: Sponsor, Kontrollgremium, Change-Team und Zielen. Die Change-Organisation ist nicht die spätere SE-Organisation, sondern eine temporäre Projekt- oder Programmorganisation, die zum Ende der SE-Einführung aufgelöst wird. Die Dauer eines ganzheitlichen SE-Einführungsprojekts wird auf etwa 7 Jahre geschätzt [SBI+19]. Die Bestandteile einer Change-Organisation sind in Bild 4-13 dargestellten und werden im Folgenden näher erläutert. Zunächst werden die Bestandteile der Struktur erklärt. Anschließend werden Aufgaben, Hilfsmittel und Mitglieder des Change-Teams dargestellt.

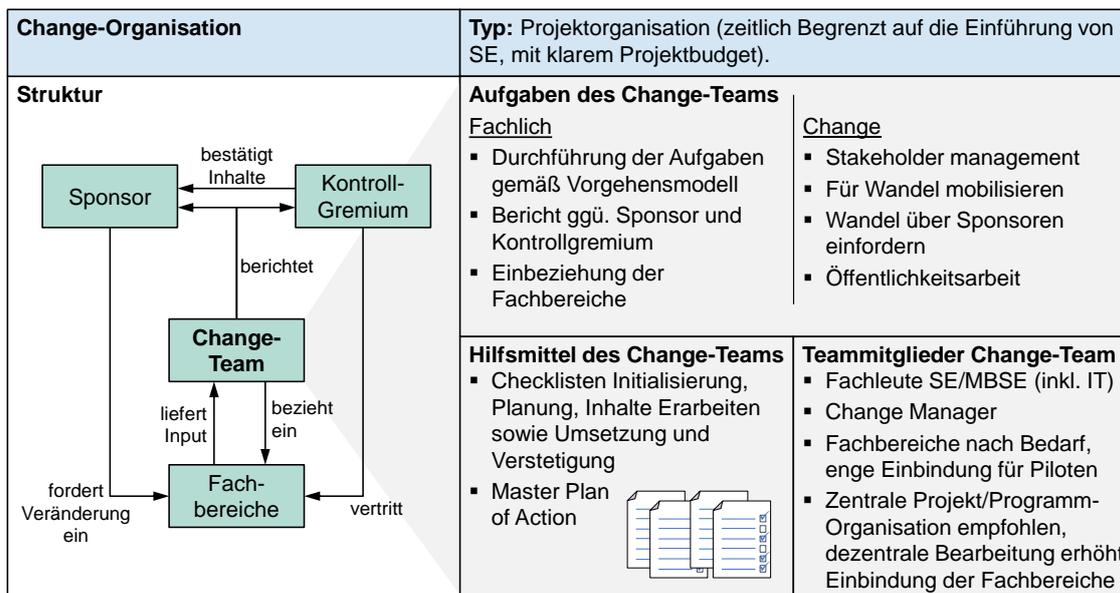


Bild 4-13: Struktur und Inhalte des Steckbriefs zur Change-Organisation, angelehnt an CONNER [CON06]

Eine Voraussetzung dafür Veränderungen in die Organisation zu bringen, ist es, Stakeholder vom Vorhaben zu überzeugen, die die notwendige Macht haben, die Veränderung einzufordern. Ein **Sponsor** ist ein solcher Stakeholder. Er kann Veränderungen legitimieren und einfordern. Zudem ist er dafür verantwortlich, die notwendigen Rahmenbedingungen zu schaffen, in der die gewünschte Veränderung Erfolg haben kann. Dazu gehört z. B. die Kommunikation veränderter Prioritäten, etc. Als Sponsor sollte idealerweise die

Geschäftsführung, alternativ das Top-Management, gewonnen werden [Con06]. Abhängig vom Initiator für die SE-Einführung kann ein Sponsor bereits vorhanden sein. Ist dies nicht der Fall, muss der Sponsor vor Abschluss der Phase „Einführung initialisieren“ gefunden sein. Als gefunden gelten kann der Sponsor, wenn er seine Unterstützung für das Einführungsprojekt zugesagt hat oder wenn er den Auftrag erteilt, den Mehrwert vor der Einführung zu untersuchen. Dies kann im Rahmen einer ersten Iteration der Phasen 2 und 3 im Operationalisierungskonzept erfolgen. Die Sponsorschaft für das weitere Vorgehen (weitere Iterationen und Phase 4) muss in diesem Fall auf Basis dieses ersten Durchlaufs vor weiteren Aktivitäten bestätigt werden.

Das **Kontrollgremium** überprüft den Fortschritt bei der Einführung und stellt sicher, dass alle wichtigen Interessengruppen berücksichtigt werden. Da nicht jede Tätigkeit explizit mit jedem Fachbereich durchgesprochen werden kann, entsenden die Fachbereiche Vertreter in das Kontrollgremium. Diese vertreten die Interessen der Fachbereiche und verleihen den Projektergebnissen gegenüber den Sponsoren das notwendige Gewicht. Im Rahmen des Einführungsprojekts muss das Kontrollgremium die Wünsche der Fachbereiche vertreten, bei Bedarf Zugang zu den Fachbereichen ermöglichen und die Ergebnisse hinsichtlich ihrer Eignung prüfen. Die ideale Besetzung des Kontrollgremiums besteht aus Advokaten, also Stakeholdern, die die SE-Einführung zwar erreichen möchten, aber alleine nicht die notwendige Macht hierzu haben. Durch den Zusammenschluss im Kontrollgremium erhalten die Advokaten zusätzliche Legitimation und die offizielle Aufgabe, die SE-Einführung zu begleiten und zu lenken. Sowohl Führungskräfte als auch operative Mitarbeiter können Aufgaben im Kontrollgremium übernehmen.

Die eigentliche Veränderung wird über das **Change-Team** getrieben. Die Aufgaben des Teams umfassen fachliche Aufgaben und das Change Management. Zu den fachlichen Aufgaben zählt das Management des Veränderungsprojekts, die Durchführung des Projekts gemäß des Operationalisierungskonzepts, das Berichtswesen gegenüber dem Kontrollgremium und Sponsor und die Einbeziehung der Fachbereiche. Im Bereich des Change Management muss das Team das notwendige Stakeholdermanagement durchführen, für den Wandel mobilisieren, den Wandel einfordern und die notwendige Öffentlichkeitsarbeit im Unternehmen durchführen. Im Team müssen drei Rollen vertreten sein: Der Change-Manager verantwortet sämtliche Tätigkeiten im Kontext des Change Management. Der SE-Treiber verantwortet sämtliche fachliche Tätigkeiten des SE und Fachexperten unterstützen bei der Durchführung von Aufgaben in beiden Bereichen. Dabei muss das Change-Team nicht zwingend jede Aufgabe selbst umsetzen. Gerade das Abarbeiten von Maßnahmen im Rahmen der dritten Phase kann auch mit Unterstützung der Fachbereiche oder externer Partner erfolgen. Das Change-Team kann auch als Kernteam für die Veränderung betrachtet werden, dementsprechend sollten Vertreter der wichtigen betroffenen Bereiche (Fachbereiche, aber auch IT, etc.) im Team vertreten sein.

Die **Fachbereiche** sind das Ziel der Veränderung. Dementsprechend müssen sie den Mehrwert der Veränderung verstehen, an den Maßnahmen zur Veränderung mitarbeiten und zur Einführung entsprechend geschult werden. Welche Fachbereiche einbezogen

werden, hängt dabei vom Umfang der Einführung ab. Als Startpunkt sollten alle Entwicklungsbereiche bzw. -disziplinen und die Engineering-IT einbezogen werden. Abhängig vom Projektverlauf kann die Zusammensetzung nach der Zielbestimmung und auch in späteren Phasen angepasst werden. Soll SE über die Entwicklung hinaus im gesamten Unternehmen oder sogar der gesamten Wertschöpfungskette eingeführt werden, müssen entsprechend auch Vertreter der restlichen Unternehmensbereiche bzw. Partner eingebunden werden.

Bedarfsanalyse und Zielfindung

Zur **Bedarfsanalyse** wird zunächst der relevante Entwicklungsprozess detailliert analysiert. Hierzu eignen sich etablierte Prozessanalysetechniken wie OMEGA. OMEGA ist eine Prozessmodellierungssprache und ein Ansatz zur Prozessanalyse und ermöglicht die Abbildung von aktuellen Prozessen sowie deren Analyse und dient als Grundlage für die Gestaltung verbesserter Prozesse. Im Rahmen der Analyse werden beispielsweise Verbesserungspotentiale und Schwachstellen identifiziert und im Prozessmodell dokumentiert (vgl. [GHK+06], [GP14]).

Zur **Zielfindung** werden die in der Prozessanalyse identifizierten Verbesserungspotentiale und Schwachstellen weiterverarbeitet. Für jedes Potential und jede Schwachstelle analysiert das Change-Team, welches Ziel mit der Umsetzung des Potentials bzw. dem Abstellen der Schwachstelle verfolgt wird. Hierzu werden die Potentiale bzw. Schwachstellen mit den Zielen aus der Zielpyramide bzw. dem zugehörigen **Zielkatalog** verknüpft (vgl. Anhang A2.3). Bild 4-14 zeigt das Vorgehen exemplarisch. Dabei sind die tatsächlichen Ziele zu ergründen, da ein Potential in unterschiedlichen Fällen zu unterschiedlichen Zielen beitragen kann. Z. B. kann das Potential „Schablone für Anforderungen einführen“ unter anderem zu den Zielen „Transparenz ermöglichen“, „Zeit Einsparen“, „Norm-Konformität“ oder „Tätigkeiten vereinfachen“ beitragen. Welches Ziel im vorliegenden Fall tatsächlich relevant ist, muss auf Basis der Prozessanalyse unternehmensindividuell entschieden werden. Potentiale und Schwachstellen können dabei einem oder mehreren Zielen zugeordnet werden. Sollten relevante Ziele nicht im Zielkatalog enthalten sein, so kann dieser unternehmensspezifisch erweitert werden.

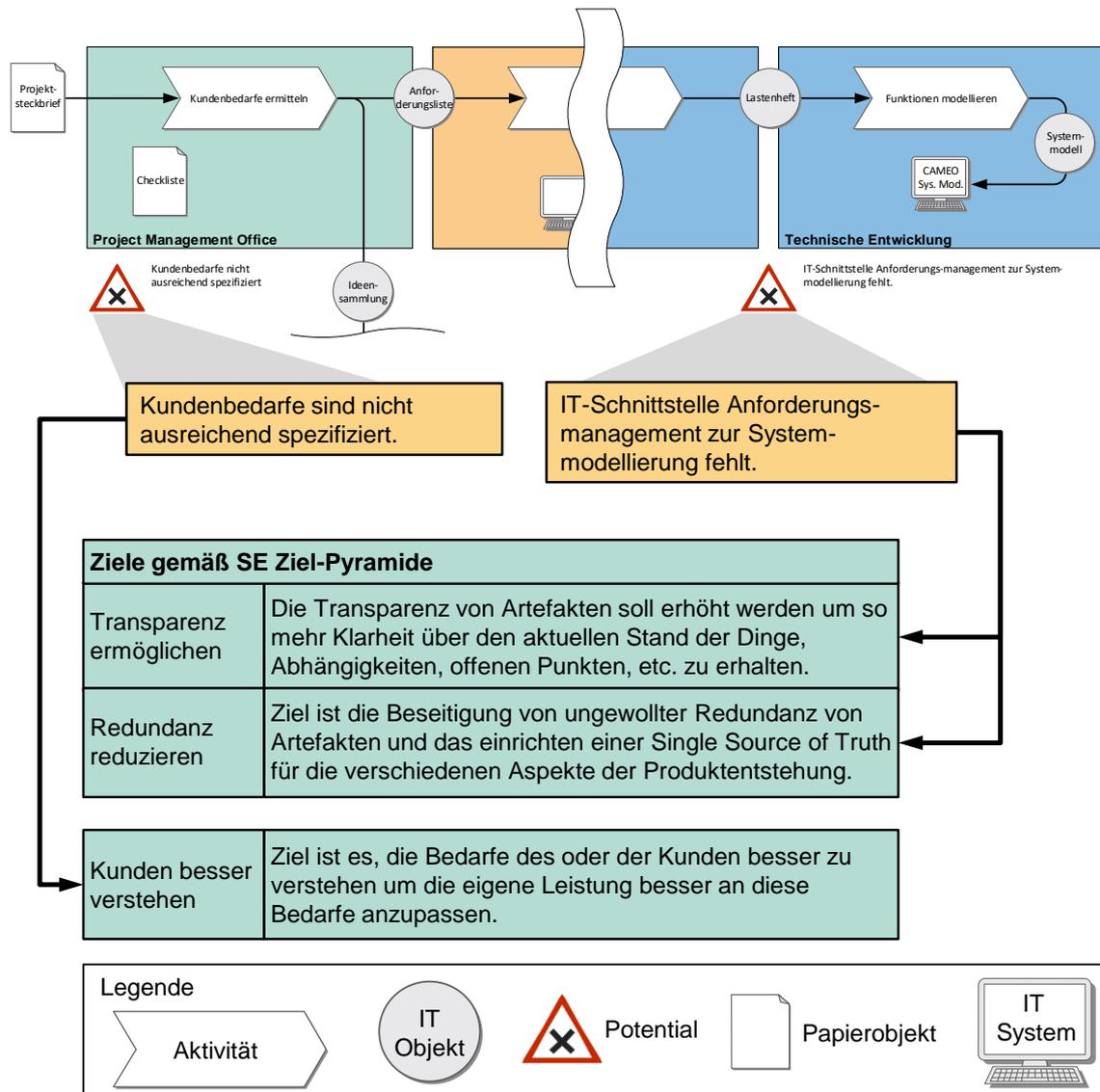


Bild 4-14: Zusammenhang von Prozessanalyse und Zielen

Zur **Priorisierung der Ziele** kann die **Vergleichsmatrix der Verbesserungsziele verwendet werden**. Diese lehnt sich an die Gewichtungsberechnung des Analytic Hierarchy Process (AHP) an [MK13]. Dabei werden alle Ziele paarweise verglichen, wobei die in Tabelle 4-7 dargestellte Skala verwendet wird. Möglich sind Bewertungen zwischen 1/9 und 9. Alle Werte größer als 1 sagen aus, dass das Zeilenelement wichtiger als das Spaltenelement eingeschätzt wird. Die jeweils umgekehrte Bewertung wird durch den Kehrwert (1/2, ...) beschrieben. Der Wert 1 steht für eine gleiche Bedeutung der beiden zu vergleichenden Elemente. Die zentrale Fragestellung bei der Bewertung lautet, wie in Bild 4-15 dargestellt: „Wie wichtig ist das Ziel i (Zeile) im Vergleich mit dem Ziel j (Spalte)?“ Die entsprechenden Bewertungen werden vom Change-Team mit dem Kontrollgremium und den Sponsoren erarbeitet.

Tabelle 4-7: AHP-Bewertungsschema nach [ITS08]

AHP-Werte	Definition
1	Gleiche Bedeutung (Indifferenz)
3	Etwas größere Bedeutung
5	Erheblich größere Bedeutung
7	Sehr viel größere Bedeutung
9	Absolut dominierend
2,4,6,8	Zwischenwerte
1/2, 1/3, 1/4, 1/5, 1/6, 1/7, 1/8, 1/9	Reziprokwerte für „inverse“ Bewertungsurteile, bei denen das Kriterium j gegenüber dem Kriterium i bedeutsamer ist.

Zur Berechnung der **Zielgewichtung** wird die ausgefüllte Vergleichsmatrix zunächst auf 1 normiert, d. h. jeder Wert der Matrix wird durch die Spaltensumme der Spalte dividiert, in der sich der Wert befindet. Anschließend werden die Zeilensummen gebildet und durch die Anzahl der verglichenen Elemente n dividiert (im Beispiel: 3). Ergebnis sind die Gewichtungen der Elemente, wie in Bild 4-15 dargestellt.

Vergleichsmatrix der Ziele		Verbesserungsziel	Nr.	1	2	3	Gewichtung	Konsistenzverhältniszahl Ziel: < 0,1
Fragestellung: „Wie wichtig ist das Ziel i (Zeile) im Vergleich mit dem Ziel j (Spalte)?“								
Bewertungsskala: 1/n: Ziel Z ist weniger wichtig als Ziel S 1: Beide Ziele sind gleich wichtig n: Ziel Z ist wichtiger als Ziel S Mögliche Ausprägungen von n entnehmen Sie der beigefügten Tabelle.								
Nr.	Verbesserungsziel							
1	Umsatz erhöhen			3	3	60%	0	
2	Zeit einsparen	1/3			1	20%		
3	Komplexität beherrschen	1/3	1			20%		

Bild 4-15: Beispiel einer Vergleichsmatrix der Verbesserungsziele

Auf Basis der Matrix kann zudem ein Konsistenzwert berechnet werden. Konsistent ist eine Bewertung dann, wenn die Einzelbewertungen untereinander konsistent sind. Ist beispielsweise A doppelt so wichtig wie B und C, müssen B und C zwingend gleich wichtig sein. Der Konsistenzwert der Matrix berechnet sich wie folgt:

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

Gleichung 4-4: Berechnung des Konsistenzwerts CI

λ_{max} : Maximaler Eigenwert

n: Anzahl bewerteter Elemente

Für steigende Matrizengrößen steigt auch die Wahrscheinlichkeit für inkonsistente Bewertungen. Dies wird durch den Konsistenzindex R_i abgebildet, der mit steigender Größe der Matrix steigt (vgl. Tabelle 4-8). Aus dem Verhältnis von R_i und CI wird die Konsistenzverhältniszahl (K_i) gebildet. Bei K_i Werten unter 0,1 gilt eine Bewertungsmatrix als ausreichend konsistent, für größere Matrizen sind auch Werte bis 0,2 akzeptabel [MK13].

Tabelle 4-8: Durchschnittlicher Konsistenzindex R bei gegebener Matrixgröße n [Sat80].

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
R_i	0	0	0,52	0,89	1,11	1,25	1,35	1,40	1,45	1,49

Das AHP-Vorgehen ist zwar komplexer als ein einfacher paarweiser Vergleich, liefert mit dem **Konsistenzfaktor** jedoch auch einen wertvollen Hinweis zur Qualität des Bewertungsergebnisses. Der paarweise Vergleich ist als simplere und mathematisch einfacher nachvollziehbare Alternative z. B. bei WESTERMANN beschrieben [Wes17].

Prüfung der Gewichtung

Sowohl bei der Anwendung von AHP als auch beim einfachen paarweisen Vergleich können verschiedene Ziele sehr unterschiedlich gewichtet werden. Der Veränderungsprozess und das folgende Vorgehen werden hierdurch prinzipiell vereinfacht, da eine Fokussierung auf eine geringere Anzahl wichtiger Ziele erfolgt. Maßnahmen können somit zielgerichteter gestaltet werden. Zudem werden zentrale Ziele so von weniger wichtigen Randzielen getrennt. Dies vereinfacht den Veränderungsprozess erheblich.

Gegen eine solche Vereinfachung spricht jedoch die damit verbundene Botschaft der unwichtigen Ziele. Wenn das Risiko besteht, dass aufgrund von niedrig priorisierten Zielen einzelne wichtige Stakeholder ihre Interessen nicht angemessen berücksichtigt sehen und hieraus zu große negative Konsequenzen zu erwarten sind, wird empfohlen, das Ausmaß der Schwankungen in der Priorität zu reduzieren. Hierzu kann in Anlehnung an die Methode nach BALÁZOVÁ ein Rangindex mit einem Wertebereich zwischen 1 und 2 errechnet werden. Dadurch ist das wichtigste Ziel exakt doppelt so wichtig wie das unwichtigste. Die Formel zur Berechnung lautet [Bal04]:

$$F_R = 1 + \frac{n_{vz} - R_i}{n_{vz} - 1}$$

Gleichung 4-5: Berechnung des Rangindex der Verbesserungsziele

F_R : Rangindex des Verbesserungsziels

n_{vz} : Anzahl der Verbesserungsziele

R_i : Rang des Verbesserungsziels

4.5.3 Hilfsmittel zu Phase 2: Einführung planen

Die Hilfsmittel zur Planung der Einführung unterstützen den Anwender gemeinsam mit dem Reifegradmodell bei der Festlegung der genauen Rahmenbedingungen und der Ableitung geeigneter Maßnahmen. Drei Hilfsmittel werden im Folgenden bereitgestellt: **Motivationsansätze** (Kapitel 4.5.3.1) und **Einführungsansätze** (Kapitel 4.5.3.2) unterstützen beim Abstecken der Rahmenbedingungen für die eigentliche Einführung. Das **Vorgehen zur Maßnahmenableitung** (Kapitel 4.5.3.3) unterstützt bei der Identifikation und Plausibilisierung geeigneter Maßnahmen.

4.5.3.1 Motivationsansätze

Herleitung

Wie in Kapitel 2.4.3 dargestellt, muss für eine erfolgreiche Einführung von SE und MBSE ein Vorgehen gewählt werden, welches Top-Down- und Bottom-Up-Ansätze integriert. Die in Kapitel 3.3.1 dargestellten Change Management Ansätze sind im Wesentlichen Top-Down geprägt, ebenso die in Kapitel 3.3.2 dargestellten Ansätze zur Einführung von SE. Um Aspekte von Top-Down und Bottom-Up bei der Einführung entlang des gesamten Einführungsprojekts zu beachten, gilt es bereits beim Schaffen der notwendigen Motivation für die SE-Einführung alle relevanten Stakeholder zu beachten. Für eine erfolgreiche Veränderung müssen sowohl die breite Masse der Betroffenen als auch das Top-Management von der Veränderung überzeugt werden (vgl. Kapitel 3.3.1). Ziel ist dementsprechend eine Situation zu erreichen, in der sowohl das Management (Top-Down) als auch die breite Masse der Betroffenen (Bottom-Up) SE einfordern und erarbeiten. Sofern nicht die unwahrscheinliche Situation vorliegt, dass dies bereits der Fall ist, gibt es demnach drei mögliche Ausgangssituationen: Das Management (1) möchte SE einführen, ein einzelner Fachbereich (2) oder mehrere Fachbereiche (3) möchten SE einführen. Die Motivationsansätze sollen helfen, von jeder dieser Ausgangssituationen zum gewünschten Zielbereich zu gelangen. Die Ausgangssituationen sind in Bild 4-16 als Ecken des Dreiecks dargestellt, der Zielbereich ist grün hinterlegt.

Die **Analyse** von vier großen SE-Einführungsprojekten, die der Autor im Rahmen seiner Tätigkeit am IEM begleitet hat, zeigte deutlich, dass unterschiedliche Vorgehensweisen möglich sind. Die Einordnung der Analyse in das Dreieck in Bild 4-16 ergab die Ansätze c, e und f. Mit dem Ziel, geeignete Ansätze für jede mögliche Ausgangssituation bereitzustellen, wurden anschließend auf Basis theoretischer Überlegungen sowie Gesprächen mit SE-Experten aus Industrie und Forschung sechs mögliche Ansätze zur Motivation der Organisation für SE identifiziert.

Je Ausgangspunkt im Dreieck ergeben sich zwei mögliche Motivationsansätze. Ausgehend von einem einzelnen, von SE überzeugten Fachbereich, ergeben sich zum Beispiel folgende Ansätze: Entweder überzeugt der einzelne Fachbereich zunächst weitere Fachbereiche, um so dem Management den Bedarf für SE zu verdeutlichen. Oder der Fachbereich überzeugt zunächst das Management, um über diesen Weg die SE-Einführung bei weiteren Fachbereichen einzufordern. Nach derselben Logik ergeben sich auch jeweils zwei mögliche Ansätze für das Management sowie eine breite Masse an überzeugten Fachbereichen. Im unwahrscheinlichen Fall, dass bereits eine breite Überzeugung vom Bedarf für SE bei Fachbereichen und Management vorliegt, ist keine aktive Motivation mehr notwendig, was durch den siebten Ansatz dargestellt wird.

Bild 4-16 stellt alle Optionen dar. Im Folgenden werden zunächst die verschiedenen **Motivationsansätze dargestellt**. Der gewählte Ansatz hat Auswirkungen auf die Ableitung der Maßnahmen für die Umsetzung des Einführungsprojekts. Abschließend erfolgt die Beschreibung der **Anwendung** dieser Ansätze für ein Einführungsprojekt. Die konkreten **Auswirkungen** des gewählten Ansatzes werden in Kapitel 4.5.3.3 näher beschrieben.

Beschreibung der Motivationsansätze

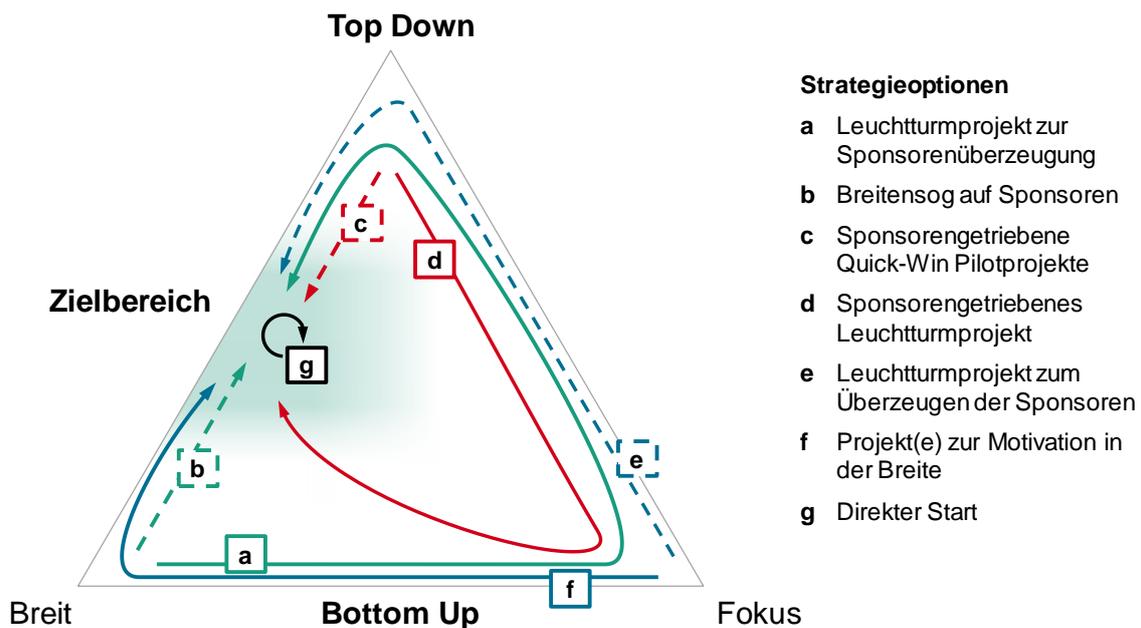


Bild 4-16: Optionen zur Motivation für SE

(a) Leuchtturmprojekte zur Sponsorenüberzeugung: Ziel von Ansatz a ist es, ausgehend von einer in der Breite vorhandenen Überzeugung von SE, Sponsoren zu überzeugen. Hierzu wird mit Hilfe fokussierter und detaillierter Aktivitäten in einem begrenzten Bereich der notwendige Nutznachweis erarbeitet. Dazu eignet sich ein einzelnes Leuchtturmprojekt, welches so ausgelegt wird, dass es einen für die Sponsoren greifbaren Mehrwert aufzeigt.

Begriffsdefinition Leuchtturmprojekt: Einzelnes, tendenziell aufwändigeres Projekt, dessen Ziel es ist, mit den detaillierten Anwendungserfahrungen des SE eine positive Botschaft zum Mehrwert von SE an Sponsoren und oder die breite Masse der Fachbereiche zu senden, um den Bedarf für eine Nachahmung zu erzeugen.

Der Ansatz eignet sich, wenn zwar in der Breite die Überzeugung vom Mehrwert durch SE existiert, dieser aber noch nicht sponsorengerecht nachgewiesen werden konnte und die Sponsoren noch nicht mit der notwendigen Unterstützung hinter der SE-Einführung steht. Dies ist auch dann der Fall, wenn in Phase 1 der Sponsor den Nutznachweis als Voraussetzung für weitere Schritte einfordert. Wenn die Fachbereiche auf Basis ihrer breiten Überzeugung von SE die Sponsoren auch ohne dedizierten Nutznachweis überzeugen können, eignet sich Ansatz b besser.

(b) Breitensog auf Sponsoren: Ziel von Ansatz b ist es, ausgehend von einer in der Breite vorhandenen Überzeugung von SE, die Sponsoren zu überzeugen. Hierzu wird auf Basis der Stärke der Fachbereiche geschlossen Druck auf die Sponsoren ausgeübt. Zu diesem Zweck wird der Bedarf für SE von den Fachbereichen möglichst geschlossen vorgestellt und argumentiert. Ein entsprechendes Einführungsprojekt wird eingefordert.

Der Ansatz eignet sich, wenn eine allgemeine Überzeugung vom Mehrwert durch SE existiert und die Fachbereiche den notwendigen Einfluss auf die Sponsoren haben, um eine Unterstützung ohne vorherige Maßnahmen einzufordern.

(c) Sponsorengetriebene Quick-Win Pilotprojekte: Ziel von Ansatz c ist es, ausgehend von der bei Sponsoren vorhandenen Überzeugung des Mehrwerts von SE, die Überzeugung in die Breite zu tragen. Hierzu werden auf Basis der Macht der Sponsoren Aktivitäten eingefordert, die in den Fachbereichen schnell erste Mehrwerte deutlich machen. Dazu eignen sich „Quick-Win“ Projekte, die mit einem eher pragmatischen Vorgehen und möglichst geringen Aufwänden schnell erste Erfolge und Mehrwerte des SE für die Fachbereiche und operative Arbeitseben aufweisen.

Der Ansatz eignet sich, wenn ein oder mehrere mächtige Sponsoren vom Mehrwert von SE überzeugt sind und bereit sind, die notwendigen Ressourcen für Quick-Win Projekte in den Fachbereichen bereitzustellen. Hierzu gehört zum einen eine Priorisierung des Tagesgeschäfts, die eine Bearbeitung der Quick-Win Projekte zulässt, zum anderen die Bereitstellung finanzieller Mittel für externe Experten oder prototypisch anzuwendende Werkzeuge. Wenn die notwendigen Ressourcen in der Breite nicht bereitgestellt werden können oder der Sponsor die Mehrwerte eher in der tiefen Anwendung von SE (statt in der Breite) erwartet, eignet sich Ansatz d besser.

Begriffsdefinition Quick-Win Projekt: Schnelles, tendenziell weniger aufwändiges Projekt mit dem Fokus, in kurzer Zeit einen Mehrwert der SE-Anwendung aufzuzeigen. Hat keinen Anspruch daran, potenzielle Mehrwerte vollständig zu heben. Das Ziel ist, mit geringem Aufwand Erfolgsgeschichten zu erzeugen.

(d) Sponsorengetriebenes Leuchtturmprojekt: Ziel von Ansatz d ist es, ausgehend von der bei Sponsoren vorhandenen Überzeugung des Mehrwerts von SE, die Überzeugung in die Breite zu tragen. Hierzu wird auf Basis der Macht der Sponsoren ein Leuchtturmprojekt aufgesetzt. Dieses ist im Vergleich zu Quick-Win Projekten (vgl. Option c) längerfristig und größer ausgelegt. Ziel ist es, detaillierte Erfahrungen zu sammeln und für die Fachbereiche mögliche Mehrwerte von SE transparent zu machen, ohne dass die Fachbereiche dabei zwingend Arbeit in eigene Projekte investieren müssen. Das Leuchtturmprojekt soll die Fachbereiche in der Breite motivieren, an den Projekterfolgen teilhaben zu wollen und entsprechend offen für Veränderungen hinsichtlich SE im eigenen Bereich zu sein.

Der Ansatz eignet sich, wenn ein oder mehrere mächtige Sponsoren vom Mehrwert von SE überzeugt sind und bereit sind, die notwendigen Ressourcen für ein Leuchtturmprojekt in den Fachbereichen bereitzustellen. Hierzu gehört zum einen eine Priorisierung des Tagesgeschäfts, die eine Bearbeitung des Leuchtturmprojekts zulässt, zum anderen finanzielle Mittel für externe Experten oder prototypisch anzuwendende Werkzeuge. Der Ansatz eignet sich, wenn der Mehrwert durch SE eher durch eine Anwendung in der Tiefe erwartet wird oder wenn in der Breite eine große Skepsis dem SE gegenüber herrscht. Das Leuchtturmprojekt wird in diesem Fall im geeignetsten Bereich durchgeführt, hierfür notwendige Kompetenzen werden gebündelt.

Für die Ansätze c und d gilt: Ein direktes Einfordern der Veränderung (ohne vorherige Motivation) wird nicht empfohlen, die erwartete Abwehrreaktion bei den Betroffenen kann die SE-Einführung mit einer hohen Wahrscheinlichkeit scheitern lassen.

(e) Leuchtturmprojekt zum Überzeugen der Sponsoren: Ziel von Ansatz e ist es, ausgehend von einem einzelnen, von SE überzeugten Kernbereich, Sponsoren von SE zu überzeugen. Hierzu wird mit Hilfe fokussierter und detaillierter Aktivitäten in einem abgegrenzten Bereich der notwendige Nutznachweis zur Überzeugung der Sponsoren geleistet. Dazu eignet sich ein einzelnes Leuchtturmprojekt, welches so ausgelegt wird, dass ein für die Sponsoren greifbarer Mehrwert deutlich wird.

Der Ansatz eignet sich, wenn der überzeugte Fachbereich in der Lage ist, ein Leuchtturmprojekt aus eigenem Budget zu ermöglichen und weder eine breite Koalition der Willigen noch überzeugte Sponsoren vorhanden sind.

(f) Projekt(e) zur Motivation in der Breite: Ziel von Ansatz f ist, ausgehend von einem einzelnen, von SE überzeugten Kernbereich, einen breiteren Anwenderkreis von Mehrwert und Bedarf von SE zu überzeugen. Hierzu sind sowohl ein Leuchtturmprojekt als auch Quick-Win Projekte geeignet.

Der Ansatz eignet sich, wenn der überzeugte Fachbereich in der Lage ist, ein Leuchtturmprojekt oder mehrere Quick-Win Projekte aus seinem Budget zu ermöglichen und weder eine breite Koalition der Willigen noch überzeugte Sponsoren vorhanden sind. Zur Nutzung von Quick-Win Projekten in den Fachbereichen muss dort die Bereitschaft vorliegen

die hierfür notwendigen Kapazitäten bereitzustellen. Die Bereitschaft hierfür kann beispielsweise dadurch verbessert werden, dass die fachliche Betreuung der Projekte aus dem überzeugten Einzelbereich heraus durchgeführt oder finanziert wird.

Für die Ansätze e und f gilt: Beide Ansätze starten aus einer schwächeren Position als die Ansätze a bis d. Wenn möglich, sind die Ansätze a bis d daher zu bevorzugen.

(g) Direkter Start: Ansatz g erfordert keine vorgelagerte Motivation von Sponsoren oder der Fachbereiche, da beides bereits vorliegt. In diesem Fall ergeben sich aus Sicht der Motivation keine besonderen Anforderungen an durchzuführende Maßnahmen. Dies ist die optimale, wenn auch unwahrscheinliche, Ausgangssituation für die weitere SE-Einführung. Trotz der guten Ausgangssituation bleibt die Bedeutung der Change Management Aktivitäten im weiteren Projektverlauf jedoch hoch.

Der ausgewählte Ansatz wird abschließend im MPA eingetragen, üblicherweise gilt es exakt einen Ansatz auszuwählen. Die Ansätze e und f können bei dringendem Bedarf jedoch auch gemeinsam ausgewählt werden.

Anwendung der Motivationsansätze

Zur Auswahl eines geeigneten Motivationsansatzes gilt es zunächst den Initiator des Einführungsprojekts, die Change-Organisation und die Kultur im Unternehmen zu analysieren. Der **Initiator** des Einführungsprojekts determiniert, welche Ecke des Dreiecks aus Bild 4-16 der Ausgangspunkt ist. Hat z. B. ein Vorstand die Einführung angestoßen, ist der Ausgangspunkt im Dreieck oben. Die **Sponsoren**, die im Rahmen der Change-Organisation gefunden wurden, geben Aufschluss über die Stärke der Managementunterstützung. Sind sie bereits überzeugt, ist eine Strategie zu wählen, die die Breite adressiert. Sind die Sponsoren noch zu überzeugen, ist die Strategie zu wählen, die die größten Erfolgsaussichten darauf hat, die Sponsoren zu überzeugen. Je nach **Unternehmenskultur** und Präferenzen der Sponsoren kann es sinnvoll sein, den Mehrwert von SE im Rahmen eines detaillierten Projekts nachzuweisen oder zunächst über schnelle erste Erfolge mehr Fachbereiche zu gewinnen, um den Druck auf die Sponsoren zu erhöhen. Ausgehend vom Ausgangspunkt („Ecke“) muss das Change-Team den vielversprechendsten Weg auswählen. Hierbei unterstützen die oben dargestellten Beschreibungen.

4.5.3.2 Einführungsansatz

Im Folgenden werden zunächst die unterschiedlichen Einführungsansätze und deren Herleitung beschrieben. Im Anschluss werden die Herleitung und Anwendung der Auswahlunterstützung dargestellt.

Herleitung der Einführungsansätze

Ausgehend von den Ansätzen zur organisationalen Verankerung (vgl. Kapitel 3.3.3) ergeben sich zwei wesentliche Stellgrößen für die Einführung: Der **Integrationsgrad** beschreibt, in welchem Grad ein Ansatz im Unternehmen verankert wird (vgl. Spin Off vs.

bestehende Geschäftseinheit nach BADEN-FULLER und VOLDBERDA sowie O'REILLY und TUSHMAN). Die Integration im Unternehmen steht einer Externalisierung bzw. Separation entgegen. Die **Geschwindigkeit** bzw. Radikalität (vgl. Kapitel 2.4.1) beschreibt neben dem Umfang der Veränderung, ob diese direkt oder schrittweise in die Organisation gebracht wird. Für die Einführung ergeben sich die in Bild 4-17 dargestellten Handlungsoptionen. Für die vorliegende Arbeit sind nur die Handlungsoptionen zur **Internalisierung** relevant, da sie die Einführung in ein Unternehmen behandeln.

Die Externalisierungsoptionen werden im Anhang A3 kurz beschrieben. Da es sich hierbei nicht um Ansätze zur Einführung handelt, sondern um Möglichkeiten eine Einführung von SE oder MBSE im eigenen Unternehmen zu umgehen, werden diese Ansätze im Rahmen der Arbeit jedoch nicht weiter betrachtet.

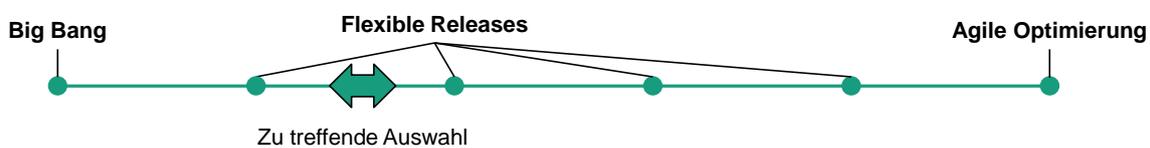


Bild 4-17: Optionen zur Einführung für SE

Als Kriterium für die Integration von SE im Unternehmen verbleibt die Auswahl der Geschwindigkeit der Einführung. Diese beschreibt, wie schnell die Veränderung eingeführt wird und somit, wie schnell sie für die Betroffenen wirksam wird. Dies ist unabhängig von der Dauer der vorherigen Ausarbeitung im Unternehmen und von der Art der Projektorganisation. Die Radikalität der Einführung kann auf einer kontinuierlichen Skala dargestellt werden, deren Endpunkte (vgl. Kapitel 2.4.1) eine radikale und eine inkrementelle Veränderung sind. Eine radikale Veränderung wird im Folgenden als Big Bang bezeichnet. Eine inkrementelle Veränderung wird im Folgenden als Agile Optimierung bezeichnet. Beim **Big Bang** werden alle Veränderungen zunächst ausgearbeitet und zu einem Stichtag in der Organisation gültig. Bei der **Agilen Optimierung** werden Veränderungen in kurzen Zyklen erarbeitet und direkt eingeführt. Zwischen diesen Extrema sind **Releases** in unterschiedlichen Zyklen möglich. Je nach Zykluszeit vereint das Release Eigenschaften des Big Bang und der Agilen Optimierung. Zur Auswahl sind alle bekannten Rahmenbedingungen zu betrachten, etwa der zeitliche Druck für Veränderung, der ausgewählte Motivationsansatz, etc. Im Folgenden werden zunächst die relevanten **Optionen** mit ihren Vor- und Nachteilen beschrieben. Zum Abschluss des Kapitels wird ein Hilfsmittel zur **Auswahl** des geeigneten Einführungsansatzes dargestellt.

Einführungsansätze

Die Charakteristika der drei Ansätze ergeben sich aus den in den Kapiteln 2.4.1 und 3.3.3 beschriebenen Ansätzen. Die **Vor- und Nachteile** der Ansätze ergeben sich zum einen direkt aus den Charakteristika, sowie aus den folgenden Aspekten:

Die Geschwindigkeit bzw. **Radikalität des Wandels** gibt Aufschluss über den zu erwartenden Widerstand gegen die Veränderung. Je Radikaler die Veränderung ist, je mehr

Widerstand ist zu erwarten (vgl. Kapitel 2.4.1). Die Dauer der Vorbereitung der Veränderung ist, zusammen mit dem Umfang der Veränderung, ein Indikator dafür, wie ausführlich die Veränderung durchgeplant werden kann; Hieraus ergeben sich Einflüsse auf die **Kompatibilität** einer Veränderung mit einer vorherigen Veränderung. Aufgrund der vielfältigen Wechselwirkungen kann es bei kürzeren Planungszeiten dazu kommen, dass rückwirkende Änderungen notwendig werden. Ein Beispiel ist die Einführung eines IT-Werkzeugs zur Unterstützung einer bereits definierten Methode: Hier kann eine Anpassung der Methode an das gewählte Werkzeug notwendig werden, um die Kompatibilität sicherzustellen. Aus der Radikalität des Wandels und der Kompatibilität ergibt sich zudem die **Planungssicherheit** für die betroffenen Mitarbeiter. Wenn sich der Wandel über einen längeren Zeitraum erstreckt und dabei die Kompatibilität mit vorherigen Veränderungen nicht sichergestellt ist, widerspricht dies dem menschlichen Bedürfnis nach Stabilität (vgl. Kapitel 2.4.2) – nicht nur ist die Veränderung für sich genommen unangenehm, sondern auch die Unsicherheit darüber, ob der neue Status quo Bestand haben wird.

Für jeden Ansatz wird ein Steckbrief bereitgestellt. Bild 4-18 zeigt Charakteristika, Vor- und Nachteile des Big Bang. Die beiden anderen Steckbriefe finden sich in Anhang A4.

Name: Big Bang		Datum: 4.10.2019	Stand: 1.4
		Big Bang	Agile Optimierung
<p>Charakteristika: Der Big Bang beschreibt die Einführung aller Veränderungen mit einem Schlag. Nach einer ausführlichen Vorbereitungsphase wird ein einzelner Release-Termin definiert, zu dem alle relevanten Veränderungen in der gesamten betrachteten Organisation Inkrafttreten. Entsprechend müssen zu diesem Termin nicht nur die Veränderungen (z.B. Prozesse, Methoden, ...) definiert sein, sondern auch alle notwendigen Vorbereitungsmaßnahmen wie Befähigung, Bereitstellung von Werkzeugen, etc., müssen abgeschlossen sein.</p>			
<p>Vorteile des Ansatzes:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Kompatibilität: Durch die ausführliche Vorbereitung kann sichergestellt werden, dass alle Teilaspekte der (MB)SE Einführung zueinander konsistent und kompatibel sind. Bei der Anwendung sind keine ungeplanten Brüche in Prozessen, Methoden oder Werkzeugen zu erwarten. ▪ Planungssicherheit: Veränderungen an Organisation, Prozessen und Rollen erfordern eine Phase der Umgewöhnung, in der z.B. Ansprechpartner und Prozesse neu kennengelernt werden. Für die betroffenen Mitarbeiter ist die Phase der Unsicherheit so kurz wie möglich. Die Neuerungen sind klar definiert und nach dem Inkrafttreten der Veränderung stabil. ▪ Transparenz: Der Einführungsstatus und die Gültigkeit veränderter Prozesse, Werkzeuge, Organisationen, etc. ist für alle transparent und einfach zu verstehen. 		<p>Nachteile des Ansatzes</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Vorbereitungszeit: Die notwendige Vorbereitung für eine vollständige (MB)SE Einführung mit einem Big Bang ist aufwändig, die Veränderung kann unter Umständen erst mehrere Jahre nach dem Start des Veränderungsprojekts im operativen Geschäft greifen. ▪ Umfang: Der Umfang der Veränderung ist, verglichen mit den anderen Optionen, am größten und kann zu besonders starken Abwehrreaktionen führen (vgl. Radikaler Wandel und Wandel 2. Ordnung in Kapitel 2.4.1) ▪ Organisation: Im Falle großer Veränderung stellt die Organisation des Rollouts eine erhebliche Herausforderung dar. Schulungen, Werkzeuge, Prozessdokumentation, etc. müssen zeitgleich bereit sein, viele Mitarbeiter (unter Umständen tausende) müssen in einem kurzen Zeitraum geschult werden damit die Neuerungen bei Inkrafttreten bekannt sind und die Inhalte nicht aufgrund von langen Zeiträumen zwischen Schulung und Anwendung vergessen werden. 	

Bild 4-18: Steckbrief des Einführungsansatzes Big Bang

Herleitung der Auswahlunterstützung für die Einführungsansätze

Welcher Einführungsansatz geeignet ist, hängt vom konkreten Anwendungsfall ab. Dieser kann durch Umfang und Schwerpunkt der notwendigen Veränderung gemäß des Reifegradmodells sowie durch die Dringlichkeit der Veränderung erfasst werden. Um die Auswahl des geeigneten Ansatzes zu erleichtern, wurde zunächst mittels eines paarweisen Vergleichs geprüft, welche der Elemente des Reifegradmodells besonderen Einfluss auf den Einführungsansatz haben (vgl. Bild 4-19). Hierzu wurde für jedes Element die Frage gestellt: „Hat das Handlungselement i (Zeile) einen größeren Einfluss auf den Einführungsansatz als das Handlungselement j (Spalte)?“. Nach der Bewertung wurde die Einflusssumme (Summe der Bewertungen je Handlungselement i) berechnet. Diese ist ein Indikator für den Einfluss des Handlungselements auf den Einführungsansatz. Die wichtigsten sechs Faktoren wurden weiter betrachtet. Diese sind: Prozesse, Kultur, Dringlichkeit, Reichweite des Bedarfs, Aufbauorganisation und Denkweise.

Paarweiser Vergleich - Einführungsansatz Fragestellung: "Hat das Handlungselement i (Zeile) einen größeren Einfluss auf den Einführungsansatz als das Handlungselement j (Spalte)?" Bewertungsskala: 0 = Nein 1 = Ja												Dringlichkeit	Einflusssumme	Rang
		Denkweise	Wissensbasis	SE-Kultur	Tailoring-Konzept	Reichweite Rollout	Schulungskonzept	SE-Aufbauorganisation	SE-Anreizsystem	Fallabhängige relevanz				
Kategorie	Handlungselement													
Grundlagen	Denkweise	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	6	6	
	Wissensbasis	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	10	
	SE-Kultur	1	1	0	1	1	1	0	1	0	1	10	2	
	Tailoring-Konzept	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	3	10	
Organisation	Reichweite Rollout	1	1	0	1	0	1	1	1	0	1	9	4	
	Schulungskonzept	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	5	7	
	SE-Aufbauorganisation	1	1	1	1	0	1	0	1	0	0	9	4	
	SE-Anreizsystem	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	3	10	
Prozesse	Fallabhängige relevanz	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	11	1	
Außerhalb RGM	Dringlichkeit	1	1	0	1	0	1	1	1	1	10	2		

Bild 4-19: Einflussfaktoren für die Auswahl geeigneter Einführungsansätze (Auszug)

Um den Einfluss dieser sechs Faktoren auf den Einführungsansatz zu ermitteln wurden je Faktor drei Thesen aufgestellt und mit vier Experten diskutiert. Die drei Thesen zum Faktor Dringlichkeit lauten: a) Eine hohe Dringlichkeit begünstigt eine Einführung als „Big Bang“, b) Eine hohe Dringlichkeit begünstigt eine Einführung im Rahmen von „Releases“ und c) Eine hohe Dringlichkeit begünstigt eine Einführung im Rahmen einer „Agilen Optimierung“. Jede These wurde auf einer Skala von 0 bis 2 bewertet. 0 steht dabei für „Ich stimme nicht zu“, 1 für „Ich stimme teilweise zu“ und 2 für „Ich stimme voll zu“. Im genannten Beispiel wurde These a) von den Experten abgelehnt, da im Fall des Big

Bang eine sehr lange Zeit zwischen dem Start des SE-Einführungsprojekts und dem Inkrafttreten erster Veränderungen vergeht, was bei einer hohen Dringlichkeit nicht gewünscht ist. Dieser Logik folgend wurde These c) voll zugestimmt. Die Bewertung aller Thesen wird in Bild 4-20 zusammengefasst dargestellt.

Thesen zum Einführungs-Ansatz				
Bewertung der Thesen nach dem Schema: Eine starke Ausprägung des Faktors i (Zeile) begünstigt eine Einführung im Rahmen des Ansatzes j (Spalte).		Einführungs-Ansatz		
Bewertungsschema: 0: keine Zustimmung 1: teilweise Zustimmung 2: volle Zustimmung			Big Bang	Release
Einflussfaktor			Agile Optimierung	
Dringlichkeit		0	1	2
Bedarfsreichweite		2	1	0
Kultur-Delta		0	1	2
Struktur-Delta		2	2	0
Denkweisen-Delta		0	1	2
Prozess-Delta		2	2	1

Bild 4-20: Bewertung der Thesen zum Zusammenhang von Einflussfaktoren und Einführungsansätzen

Anwendung der Auswahlunterstützung für die Einführungsansätze

Zur Auswahl eines geeigneten Einführungsansatzes gilt es im ersten Schritt die **Bedeutung** der sechs Einflussfaktoren im vorliegenden Projekt zu prüfen. Die Bedarfsreichweite wird direkt dem Soll-Profil des Reifegradmodells entnommen. Die vier Deltas ergeben sich aus der Differenz zwischen Soll- und Ist-Situation im jeweiligen Handlungselement. Die Dringlichkeit muss vom Anwender auf Basis des Projektauftrags und externer Faktoren (bspw. einzuhaltenden Normen) eingeschätzt werden.

Im zweiten Schritt erfolgt der **Vergleich** des erarbeiteten Bedeutungsprofils mit der Bewertung der Thesen. Ziel ist die Auswahl des Einführungsansatzes, der bei den wichtigsten Einflussfaktoren eine möglichst hohe Zustimmung gemäß Bild 4-20 erlangt. Ein Extremum ergibt sich, wenn Dringlichkeit, Kultur-Delta und Denkweisen-Delta die treibenden Faktoren sind und die anderen Faktoren kaum oder keine Relevanz haben. In diesem Fall eignet sich die Agile Optimierung besonders gut. Alle drei zugehörigen Thesen sind mit 2 („volle Zustimmung“) bewertet. Ein Big-Bang ist in diesem Fall ungeeignet, da die Thesen hier keine Zustimmung bzw. nur teilweise Zustimmung erhalten. Der umgekehrte Fall ergibt sich, wenn Bedarfsreichweite, Struktur-Delta und Prozess-Delta von dominanter Bedeutung sind. Hier eignet sich ein Big Bang eher. Bei Bewertungen der Bedeutungsprofile zwischen diesen Extrema ist eine individuelle Lösung zu suchen, wobei sich ein Vorgehen in Releases in den meisten Fällen eignet und durch die Variation der Release-Zeit in Richtung Big Bang oder Agile Optimierung angepasst werden kann.

Abschließend wird das bevorzugte Konzept anhand der **Steckbriefe** mit der Unternehmensspezifischen Situation verglichen, um dessen Eignung zu prüfen. Nach der Auswahl wird der ausgewählte Ansatz im **MPA** eingetragen. Nach diesem Schritt sind alle notwendigen Vorarbeiten zur Ableitung der Maßnahmen abgeschlossen.

4.5.3.3 Ableitung von Maßnahmen

Zur Ableitung konkreter Maßnahmen eignet sich das in Bild 4-21 dargestellte zyklische Vorgehen mit den Phasen Maßnahmen identifizieren, Maßnahmen beschreiben und Maßnahmen plausibilisieren. Im Folgenden werden die drei Phasen mit den zugehörigen Hilfsmitteln dargestellt.

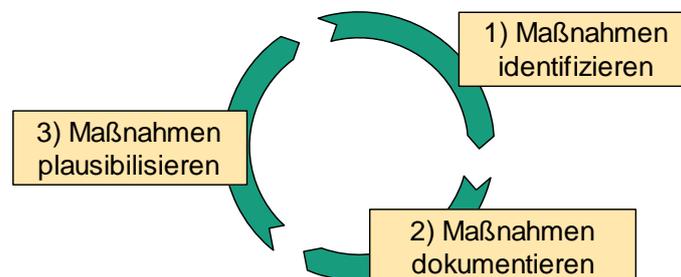


Bild 4-21: Ableitung von Maßnahmen

Maßnahmen identifizieren

Zur Identifikation der Maßnahmen gilt es, unter Berücksichtigung des gewählten Motivations- und Einführungsansatzes für alle Aspekte des Reifegradmodells Maßnahmen abzuleiten. Die beiden gewählten Ansätze haben dabei Einfluss auf die Priorität bzw. inhaltliche Ausrichtung sowie auf den Umfang der einzelnen Maßnahmen (s. unten). Es wird zwischen vier Arten von Maßnahmen unterschieden: Erarbeiten von Inhalten, Pilotieren, Umsetzen und Kommunizieren. Die Maßnahmentypen werden im Folgenden kurz skizziert und sind im Anhang A5 genauer beschrieben. Maßnahmen zur **Erarbeitung von Inhalten** werden auf Basis des Deltas zwischen Soll- und Ist-Situation im Reifegradmodell abgeleitet und zielen darauf ab, die Lücke zwischen Soll und Ist durch die inhaltliche Ausgestaltung zu reduzieren. Maßnahmen zur **Pilotierung** werden genutzt, um erarbeitete Inhalte zu validieren und die Motivation und Bereitschaft für die Veränderung zu erhöhen. **Umsetzungsmaßnahmen** zielen darauf ab, erarbeitete und pilotierte Inhalte im Unternehmen auszurollen. Maßnahmen zur **Kommunikation** ergeben sich aus dem Change Management und zielen darauf ab, die Betroffenen zu informieren und einzubinden; sie begleiten alle anderen Aufgabentypen.

Einfluss der Motivations- und Einführungsansätze auf die Maßnahmen:

Bei der Identifikation der Maßnahmen bildet das Reifegradmodell den Ausgangspunkt und die ausgewählten Ansätze zur Motivation und Einführung die Leitplanken. Aus dem **Motivationsansatz** ergeben sich, wie in Tabelle 4-9 näher beschrieben, Auswirkungen

auf die inhaltliche Ausrichtung bzw. Priorität der Maßnahmen, insbesondere zur Pilotierung. So sind beispielsweise bei der Auswahl des Ansatzes „Sponsorengetriebene Quick-Win Pilotprojekte“ Maßnahmen abzuleiten, die solche Quick-Win Projekte ermöglichen, bzw. Maßnahmen für die eigentlichen Quick-Win Projekte zu erstellen.

Tabelle 4-9: Auswirkungen des gewählten Motivationsansatzes auf die Maßnahmen

Ansatz	Auswirkung auf die Maßnahmengestaltung
Leuchtturmprojekte zur Sponsorenüberzeugung (a)	Maßnahmen, die eine hohe Breitenwirkung erzielen, ohne daraus für die Sponsoren erkennbare Mehrwerte zu erzeugen (z. B. die Pilotierung desselben Inhalts in verschiedenen Bereichen), sind nachrangig zu betrachten oder so weit zu verschieben, bis der Zielbereich (vgl. Bild 4-16) erreicht worden ist.
Breitensog auf Sponsoren (b)	Spezielle inhaltliche Maßnahmen zur Erreichung des Zielbereichs sind in diesem Fall nicht notwendig, stattdessen eignen sich Kommunikationsmaßnahmen gegenüber den Sponsoren.
Sponsorengetriebene Quick-Win Pilotprojekte (c)	Maßnahmen, die keine Breitenwirkung erzielen, sondern gezielt Sponsoren ansprechen oder langfristig angelegte Leuchtturmprojekte in einzelnen Bereichen, sind nachrangig zu betrachten oder so weit zu verschieben, bis der Zielbereich erreicht ist.
Sponsorengetriebenes Leuchtturmprojekt (d)	Maßnahmen, die im Wesentlichen einen Mehrwert für Sponsoren erzeugen, sind nachrangig zu betrachten oder so weit zu verschieben, bis der Zielbereich erreicht worden ist. Maßnahmen, die auf Quick-Wins für die Breite abzielen, sind ebenso nachrangig zu betrachten. Um dennoch eine gewisse Breitenwirkung zu ermöglichen sind Kommunikationsmaßnahmen geeignet, die das Leuchtturmprojekt begleiten.
Leuchtturmprojekt zum Überzeugen der Sponsoren (e)	Maßnahmen, die eine hohe Breitenwirkung erzielen, ohne daraus für die Sponsoren erkennbare Mehrwerte zu erzeugen (z. B. die Pilotierung desselben Inhalts in verschiedenen Bereichen), sind nachrangig zu betrachten oder so weit zu verschieben, bis der Zielbereich erreicht worden ist.
Projekt(e) zur Motivation in der Breite (f)	Maßnahmen, die den Fokus auf einen Mehrwert für einen Einzelbereich oder Sponsoren legen, sind nachrangig zu betrachten oder zu verschieben, bis der Zielbereich erreicht worden ist.
Direkter Start (g)	Aus dem direkten Start ergeben sich keine Prioritäten oder Besonderheiten für die Ableitung der Maßnahmen.

Aus dem **Einführungsansatz** ergibt sich vor allem der Umfang der Maßnahmen. Für ein Agiles Vorgehen müssen die Maßnahmen in einem kurzen Zeitraum ausgearbeitet werden, entsprechend müssen sie deutlich kleiner sein als für einen Big Bang. Zudem gilt es Maßnahmen zu erarbeiten, die die Schwächen der jeweiligen Ansätze adressieren, also z. B., um bei einem Agilen Vorgehen möglichst viel Transparenz zu schaffen. Das Change-Team hat die Aufgabe unter den genannten Rahmenbedingungen Maßnahmen abzuleiten, die geeignet sind, die Ist-Situation zur Soll-Situation (vgl. Reifegradmodell) weiterzuentwickeln und dabei die nötige Kommunikation zu gewährleisten.

Maßnahmen Dokumentieren

Nach der Identifikation relevanter Maßnahmen müssen diese näher beschrieben werden. Hierzu werden relevante Informationen zur jeweiligen Maßnahme in einem Maßnahmensteckbrief dokumentiert. Bild 4-22 stellt einen solchen Steckbrief schematisch dar. Der grau hinterlegte Bereich des Steckbriefs gilt nur für den Maßnahmentyp „Pilotieren“, muss also nicht ausgefüllt werden, wenn die Checkbox „Pilotieren“ nicht ausgewählt wurde. Die Bestandteile der Checkliste werden in Bild 4-22 direkt beschrieben.

ID: Eindeutiger Identifier	Datum: Datum	Stand: Version d. Beschreibung
Name: Name der Maßnahme	Maßnahmentyp: <input type="checkbox"/> Erarbeiten von Inhalten <input type="checkbox"/> Pilotieren <input type="checkbox"/> Kommunizieren <input type="checkbox"/> Umsetzen	
Maßnahmenziel: Beschreibung des Maßnahmenziels, z.B. Kompetenzaufbau, Erarbeiten von Inhalten, Vermittlung von Wissen, etc. für einen bestimmten Themenbereich mit einer definierten Zielgruppe.		
Beitrag Pilot zur (MB)SE-Einführung: Erwarteter Mehrwert des Piloten für die Einführung, z.B. Mehrwert qualitativ o. quantitativ nachweisen.	Beitrag (MB)SE zum Piloten: Erwarteter Mehrwert des (MB)SE für den Piloten, z.B. Zeit sparen, Fehler vermeiden, etc.	
Beschreibung der Maßnahme: Beschreibung der Maßnahme mit Inhalt, Schritten, definierten Zwischen- und Endergebnissen.		
Betroffene u. einzubindende Stakeholder: Liste von Stakeholdern die a) betroffen sind und b) eingebunden werden müssen (aktive Mitarbeit, Informationsbereitstellung, Review, ...).	Notwendige Kompetenzen: Nötige Kompetenz (Methoden, Werkzeuge, Sprachen, Prozesswissen, etc.) für das Team, welches die Maßnahme bearbeitet.	
Notwendige Vorarbeiten u. Maßnahmen: Notwendige Ergebnisse/Vorarbeiten, die zu Beginn der Maßnahme vorliegen müssen. Ggfs. Maßnahmen-ID für notwendige Maßnahmen.	Flankierende Maßnahmen: Maßnahmen, die Parallel zur Maßnahme durchzuführen sind (Maßnahmen-ID).	
Chancen der Maßnahme: Mit der Maßnahmendurchführung verbundene Chancen.	Dringlichkeit: zeitl. Kritikalität <input type="checkbox"/> Niedrig <input type="checkbox"/> Mittel <input type="checkbox"/> Hoch	
Risiken der Maßnahme: Mit der Maßnahmendurchführung verbundene Risiken.	Dauer: Dauer d. Durchführung <input type="checkbox"/> Niedrig <input type="checkbox"/> Mittel <input type="checkbox"/> Hoch	
Aufwand: Mit der Maßnahme verbunden Kosten (Personal, Beschaffung, ...).		
Erfolgskriterium: Definiert ein oder mehrere Kriterien, die erfüllt sein müssen um die Maßnahme als erfolgreich abgeschlossen zu werten.		

Bild 4-22: Maßnahmensteckbrief

Maßnahmen plausibilisieren

Nachdem die Maßnahmen dokumentiert sind, werden sie plausibilisiert. Hierzu wird zunächst geprüft, ob alle für die Maßnahmen notwendigen Vorarbeiten durch andere Maßnahmen adressiert werden, ob die pilotprojektspezifischen Fragen (s. Bild 4-22) zufriedenstellend beantwortet wurden und ob die Ziele und Chancen jeder einzelnen Maßnahme in einem angemessenen Verhältnis zu ihren Aufwänden und Risiken stehen. Zudem gilt es zu prüfen, ob die Granularität der Maßnahmen zum gewählten Einführungsverfahren passt und ein angemessener Zeitraum zur Bearbeitung verfügbar ist. Für jede Maßnahme wird zudem definiert, ob sie sofort durchzuführen ist (z. B. ein Kick-Off), durchgängig über einen längeren Zeitraum abläuft (z. B. ein projektbegleitender Newsletter) oder ob die Maßnahme bei der Zeitplanung terminiert werden kann. Für agile Vorgehen müssen die Maßnahmen entsprechend fein beschrieben werden. Die im Folgenden beschriebene Clusterung der Maßnahmen ist für agile Vorgehen nicht zwingend nötig, kann aber auch hier unterstützen.

Nach der Beschreibung der Maßnahmen wird mithilfe einer **Maßnahmen-Einflussmatrix** der Ausgangspunkt für eine mögliche Clusterung und Reihenfolgebildung für die terminierbaren Maßnahmen abgeleitet. Die in Bild 4-23 dargestellte Maßnahmen-Einflussmatrix kombiniert hierzu das Konzept einer Design Structure Matrix (DSM) mit dem einer Einflussmatrix nach BALÁZOVÁ. Die Matrix vergleicht alle erarbeiteten terminierbaren Maßnahmen vor dem Hintergrund der Frage: „Wie stark ist die Abhängigkeit von Maßnahme i (Zeile) von Maßnahme j (Spalte)?“ Die Bewertungsskala reicht von „0“ (keine Abhängigkeit) bis „3“ (hohe Abhängigkeit).

Nach dem Ausfüllen der Matrix werden zunächst die Aktiv- und Passivsumme berechnet. Die Aktivsumme zeigt an, wie stark eine Maßnahme andere Maßnahmen beeinflusst. Vor dem Hintergrund der gewählten Fragestellung beschreibt der Wert also, in welchem Umfang eine Maßnahme die Voraussetzung für weitere Maßnahmen ist. Die Passivsumme zeigt an, wie stark eine Maßnahme von anderen Maßnahmen abhängt. Aus dem Rang der Aktivsumme ergibt sich ein grobes Maß für die Reihenfolge der Abarbeitung, jedoch ohne explizite Berücksichtigung von notwendigen Voraussetzungen.

Anschließend wird ein DSM-Cluster-Algorithmus angewendet, um Cluster von eng zusammenhängenden Maßnahmen zu identifizieren. Im Rahmen dieser Maßnahme ist die Stärke des Einflusses nicht relevant, es wird nur zwischen den Ausprägungen „0“ und allen weiteren unterschieden. Die hierbei identifizierten Cluster sind als Vorschlag zu betrachten und müssen gegebenenfalls noch um Maßnahmen erweitert werden, die wichtig, aber unabhängig von anderen Maßnahmen sind. So wird beispielsweise eine Maßnahme zur kontinuierlichen Kommunikation prinzipiell nicht von anderen Maßnahmen abhängen und somit auch in kein Cluster eingeordnet werden. Daher muss sie händisch an den geeigneten Stellen hinzugefügt werden.

Maßnahmen-Einflussmatrix		Maßnahmen													
		Pilotiere Architektur QW Geschäftsbereich 2	Kommuniziere QW-Erfolge 2	Kommuniziere QW-Erfolge 1	Pilotiere Architektur QW Geschäftsbereich 1	Erarbeite RE-Rollen	Erarbeite RE-Methoden	Erarbeite RE-Prozess	Erarbeite RE-Tools	Pilotiere RE QW Geschäftsbereich 1	Erarbeite RE-Trainings	Pilotiere RE Deep Dive Geschäftsbereich 2	Pilotiere RE QW Geschäftsbereich 2	Setze neuen RE-Prozess in Kraft	Kommuniziere Fortschritt
Fragestellung: Wie Stark ist der Abhängigkeit von Maßnahme i (Zeile) von Maßnahme j (Spalte)? Bewertungsskala: 0 = keine Abhängigkeit 1 = geringe Abhängigkeit 2 = mittlere Abhängigkeit 3 = hohe Abhängigkeit		15	18	17	14	1	3	2	4	11	21	13	12	23	19
Maßnahmen	15 Pilotiere Architektur QW Geschäftsbereich 2	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	18 Kommuniziere QW-Erfolge 2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	17 Kommuniziere QW-Erfolge 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	14 Pilotiere Architektur QW Geschäftsbereich 1	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1 Erarbeite RE-Rollen	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2	1	3	0
	3 Erarbeite RE-Methoden	0	0	0	0	2	0	1	3	2	3	3	2	2	0
	2 Erarbeite RE-Prozess	0	0	0	0	3	3	0	2	2	3	3	2	3	0
	4 Erarbeite RE-Tools	0	0	0	0	0	2	0	0	0	2	2	0	2	0
	11 Pilotiere RE QW Geschäftsbereich 1	0	0	3	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0
	21 Erarbeite RE-Trainings	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0
	13 Pilotiere RE Deep Dive Geschäftsbereich 2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	3	0
	12 Pilotiere RE QW Geschäftsbereich 2	0	3	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0
	23 Setze neuen RE-Prozess in Kraft	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	19 Kommuniziere Fortschritt	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Bild 4-23: Maßnahmen-Einflussmatrix

Aus den Clustern, dem clusterinternen Rang und dem Steckbrief (insb. „Voraussetzungen“ und „Flankierende Maßnahmen“) wird abschließend eine plausible Reihenfolge für die Maßnahmen abgeleitet. Es ist sicherzustellen, dass jedes Cluster Maßnahmen der Typen „Erarbeiten von Inhalten“ und „Kommunizieren“ enthält. Maßnahmen des Typs Pilotieren können ebenfalls in einem solchen Cluster enthalten sein oder nachgelagert ohne explizites Cluster stattfinden. Einführungsmaßnahmen sollten immer den Abschluss der Bearbeitung eines Clusters bzw. eines Piloten bilden. Die Reihenfolge der Abarbeitung der Cluster ergibt sich z. T. aus den Voraussetzungen der enthaltenen Maßnahmen, z. T. jedoch auch aus dem gewählten Motivationsansatz. Wurden beispielsweise die Ansätze d „Sponsorengetriebene Quick-Win Pilotprojekte“ oder f „Projekte zur Motivation in der Breite“ gewählt, müssen im Rahmen der ersten Maßnahmen entsprechende Piloten durchgeführt werden und die dazu notwendigen Voraussetzungen geschaffen werden. Die Reihenfolge der abgeleiteten Maßnahmen wird grafisch in einer **Umsetzungsroadmap**, wie in Bild 4-24 angedeutet, dargestellt.

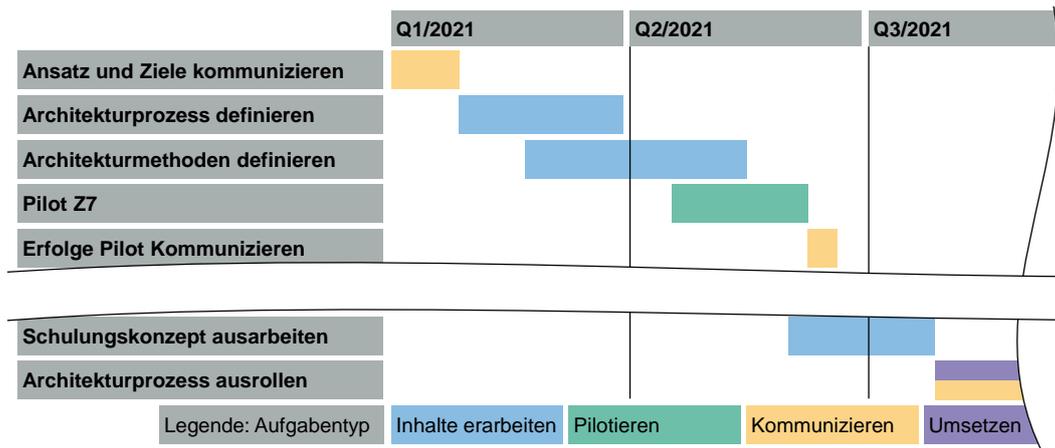


Bild 4-24: Umsetzungsroadmap (Auszug)

4.5.4 Hilfsmittel zu den Phasen 3 und 4: Umsetzung, Rollout und Verstärkung

Die bisherigen Hilfsmittel unterstützen die Planung, Gestaltung und Durchführung des Einführungsprojekts. Aspekte, die innerhalb des Einführungsprojekts ausgearbeitet werden müssen, wurden nicht betrachtet. Wie in Kapitel 3.4 dargestellt, kommt der Gestaltung der Organisation im Rahmen der SE-Einführung eine besondere Bedeutung zu, die im Stand der Technik jedoch kaum Beachtung findet. Aus diesem Grund wird im Folgenden ein Hilfsmittel zur Gestaltung der Organisationsstruktur bereitgestellt. Dieses Hilfsmittel unterstützt die Durchführung einer konkreten Maßnahme „Gestaltung der SE-Organisation“ im Rahmen des Projekts.

Während die Ablauforganisation die projektspezifischen Prozesse und Rollen beschreibt, bietet die Aufbauorganisation die Gelegenheit, SE über Entwicklungsprojekte hinaus im Unternehmen zu verankern. Das entsprechende Bewusstsein ist in der Industrie jedoch kaum ausgeprägt. Ein mit insgesamt 40 Industrieteilnehmern der it's OWL Fachgruppe SE durchgeführter Workshop zu den Erwartungshaltungen an SE in der Organisation ergab, dass nahezu ausschließlich ein Bewusstsein für die Notwendigkeit einer Projekt- bzw. Programmorganisation für die Einführung besteht. Der Bedarf für Veränderungen an der eigentlichen Aufbauorganisation wurde nicht gesehen. Diese sind jedoch in vielen Fällen notwendig, etwa, weil die Engineering-IT bislang nur fachspezifisch organisiert ist und die Anforderungen an die Durchgängigkeit von MBSE nicht erfüllen kann. Entsprechend relevant ist die Gestaltung geeigneter Supportstrukturen hinsichtlich der Prozesse, Methoden und Werkzeugen sowie das Schaffen neuer Verantwortlichkeiten, etwa für die Weiterentwicklung von SE.

Zur Unterstützung der SE geeigneten Gestaltung einer Aufbauorganisation wird der im Folgenden vorgestellte Organisationsstrukturbaustein bereitgestellt. Kapitel 4.5.4.1 erläutert die **Grundlagen** des Bausteins. Anschließend werden zwei Hilfsmittel für den

Organisationsstrukturbaukasten bereitgestellt: Kapitel 4.5.4.2 beschreibt ein **ganzheitliches Rollenkonzept** und Kapitel 4.5.4.3 stellt **archetypische Organisationsstrukturen** bereit. Diese können als Orientierungspunkt für die Gestaltung einer eigenen Aufbauorganisation genutzt werden. In Kapitel 4.5.4.4 werden schließlich das Vorgehen und der eigentliche **Baukasten** vorgestellt.

4.5.4.1 Grundlagen

Ein Zweck einer Organisation ist die Erfüllung bestimmter Funktionen bzw. Aufgaben (vgl. TOGAF, [SBL10]). Auf Unternehmensebene ist dies z. B. die Bereitstellung einer Dienstleistung oder das Herstellen von Systemen. Einzelne Organisationseinheiten erfüllen wiederum Funktionen, die zu dieser Gesamtfunktion beitragen. Aufgaben werden im Folgenden als unterste Funktionsebene betrachtet, welche von Rollen bzw. Personen ausgeführt wird. Im Rahmen eines Workshops mit 11 SE-Fachexperten wurden für das Systems Engineering in der Organisation drei zentrale Funktionen identifiziert:

- Die Funktion **Anwendung** beschreibt die eigentliche Anwendung von SE-Prozessen, -Methoden und -Werkzeugen. Sie umfasst die typischen SE-Aufgaben im Rahmen der Produktentwicklung, etwa die Durchführung einer Use-Case Analyse, das Formulieren von Anforderungen, etc.
- Die Funktion **Support** umfasst alle Aufgaben, die zur Befähigung und Unterstützung der eigentlichen Anwendung dienen. Hierzu gehört die Bereitstellung geeigneter Werkzeuge ebenso wie Services, Support-Hotlines, etc. für die Unterstützung der Anwender von Prozessen, Methoden und Werkzeugen.
- Die Funktion **Weiterentwicklung** umfasst die Aufgaben, die für die kontinuierliche Verbesserung und Weiterentwicklung von SE relevant sind. Hierzu gehören beispielsweise die Beobachtung von am Markt verfügbaren Methoden und Werkzeugen sowie die reaktive oder proaktive Weiterentwicklung eingeführter SE-Ansätze.

Aufgaben innerhalb dieser Funktionen müssen von geeigneten **Rollen** ausgeführt werden. Ein hierzu geeignetes Rollenkonzept wird in Kapitel 4.5.4.2 vorgestellt. Die genannten Funktionen und Rollen können in einer Organisationsstruktur auf unterschiedliche Weise eingebunden werden. Entsprechend gilt es zwei Dimensionen zu betrachten: **Struktur** und **Logik**. Für die **Struktur** stehen die in Kapitel 3.4.1 beschriebenen Formen von Organisationsstrukturen zur Auswahl (z. B. Matrix-Organisation). Für die **Logik** werden zwei Konzepte unterschieden:

Der klassische Ansatz setzt auf **disziplinentorientierte Strukturen**, wie in Bild 4-25 dargestellt. Vorteile dieser Struktur liegen in dem engen Austausch innerhalb der jeweiligen Disziplinen und in dem geringen Konfliktpotential bei der Umsetzung. Da diese Struktur historisch gewachsen in den meisten Unternehmen der betrachteten Branchen vorliegt,

bedeutet sie keine Veränderung und damit keinen Widerstand gegen Veränderung. Nachteile dieser Struktur sind hohe Barrieren zwischen den Bereichen. Diese sind zum einen verständnisbedingt, zum anderen auf Grund der Grenzen der Organisationseinheiten. Zudem erfolgt die Problemlösung Disziplinentorientiert und ist damit nicht zwingend optimal für das System. Ziele der Abteilung sind häufig wichtiger als ein optimales System.

Eine **funktionsorientierte Struktur** orientiert sich, wie in Bild 4-25 dargestellt, nicht an Disziplinen, sondern an Funktionen der zu entwickelnden Systeme. Vorteil dieser Struktur ist die gute disziplinübergreifende Kommunikation innerhalb der Funktionsbereiche. Hieraus wächst ein gutes Verständnis für alle Disziplinen, was wiederum die Kommunikation der Funktionsbereiche einfacher gestaltet. Zudem rückt die Suche nach optimalen Lösungen in den Vordergrund. Es ergeben sich jedoch auch Nachteile. Schwächen an Schnittstellen zwischen Funktionsbereichen wirken sich direkt auf die Schnittstellen zwischen den Funktionen des zu entwickelnden Systems aus. Zudem hängt die Aufbauorganisation eng von den betrachteten Systemen ab – verändern sich diese, muss auch die Aufbauorganisation angepasst werden. Aus diesem Grund ist die Struktur potenziell weniger stabil, sofern nicht Standards die Struktur von Systemen bestimmen (vgl. ATA-Chapter im Flugzeugbau, [Faa08]). Da funktionsorientierte Strukturen in den betrachteten Branchen nicht verbreitet sind, bedeutet ihre Einführung zunächst einmal Veränderung und erfordert damit mehr Change Management als disziplinentorientierte Strukturen.

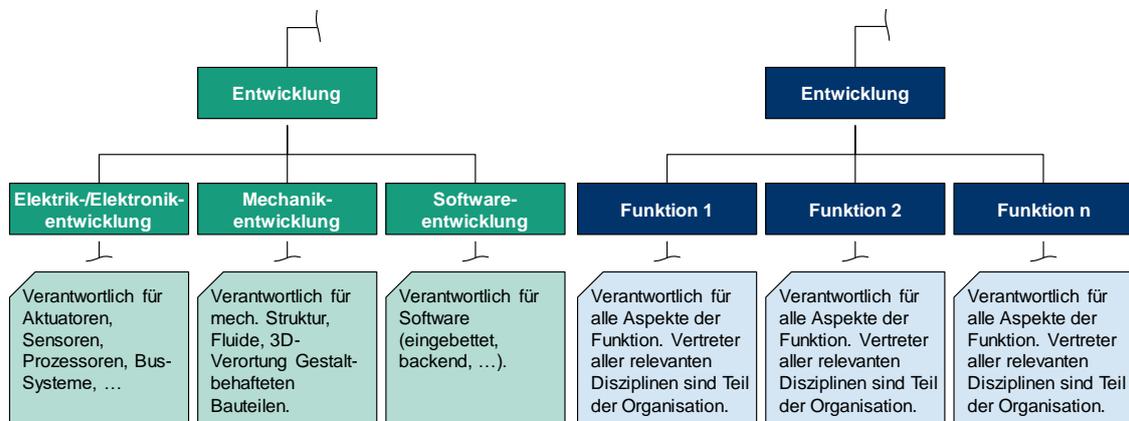


Bild 4-25: Unterschiede disziplinentorientierter und funktionsorientierter Struktur

4.5.4.2 Übersicht wichtiger Rollen im Kontext SE

Die Funktionen der Organisation im Kontext SE umfassen, wie in Kapitel 4.5.4.1 beschrieben, neben den eigentlichen Anwendern auch Support und SE-Weiterentwicklung. Ausgehend von diesem Ansatz wurden vier vom Fraunhofer IEM begleitete SE-Einführungsprojekte genutzt, um die Organisationsstruktur und Rollen im Unternehmen auf diese Funktionen hin zu untersuchen. Hierzu wurden Gespräche mit verantwortlichen Führungskräften und Vertretern der Bereiche (Fachbereiche, aber auch IT) geführt, um festzustellen, welche Funktionen, Aufgaben und Rollen vorhanden oder angedacht waren. Aufgaben bzw. Rollen im Bereich der Anwendung waren entweder vorhanden oder

angedacht und im Rahmen von Pilotprojekten zumindest partiell erstmalig erprobt. Schulungsaufgaben wurden z. T. über interne Akademien abgebildet bzw. eine entsprechende Abbildung war in Planung. Die Aufgaben der Funktionen Support und Weiterentwicklung wurden ausschließlich im Rahmen der jeweiligen Einführungsprojektorganisation verortet, weitere Konzepte lagen nicht vor. Im Bereich der Bereitstellung der nötigen IT-Infrastruktur fehlten ebenfalls die nötigen Rollen bzw. Verantwortlichkeiten; dies liegt in den betrachteten Branchen darin begründet, dass die IT zumeist in mehrere Bereiche unterteilt ist. Eine Zentral-IT stellt Infrastruktur (PCs, Office-Software, ...) bereit, während die Engineering-IT für die komplexen Entwicklungswerkzeuge zuständig ist. Typischerweise gibt es jedoch je Fachbereich (z. B. Mechanik, Elektronik, ...) eigene Engineering-IT Abteilungen. In der Zentral-IT fehlen die notwendigen Kompetenzen im Hinblick auf die komplexe Engineering-IT, in den Engineering-IT Abteilungen fehlen Rollen bzw. Verantwortlichkeiten für die Durchgängigkeit der Engineering-IT. Auf Basis dieser Erkenntnisse wurde das im Folgenden beschriebene Rollenbild entwickelt und in Einführungsprojekten diskutiert und bestätigt.

Das Rollenbild basiert auf den Vorarbeiten von SHEARD und FRIEDENTHAL (vgl. Kapitel 3.4), erweitert diese jedoch um die wichtigen unterstützenden Rollen. Hierzu wird, wie in Bild 4-26 dargestellt, zwischen zwei Arten von Rollen unterschieden. Die klassischen Rollen des Systems Engineers, wie auch bei SHEARD und FRIEDENTHAL beschrieben, werden **Projektrollen** genannt. Sie umfassen die Aufgabenfelder, die im Rahmen eines konkreten Entwicklungsprojekts relevant sind. Neu hinzu kommen die **unterstützenden Rollen**. Diese beschreiben die Aufgaben, die die eigentliche Projektarbeit ermöglichen und unterstützen, indem sie Prozesse, Werkzeuge, Service und Support bereitstellen. Die Aufgaben der Rollen werden im Folgenden kurz beschrieben:

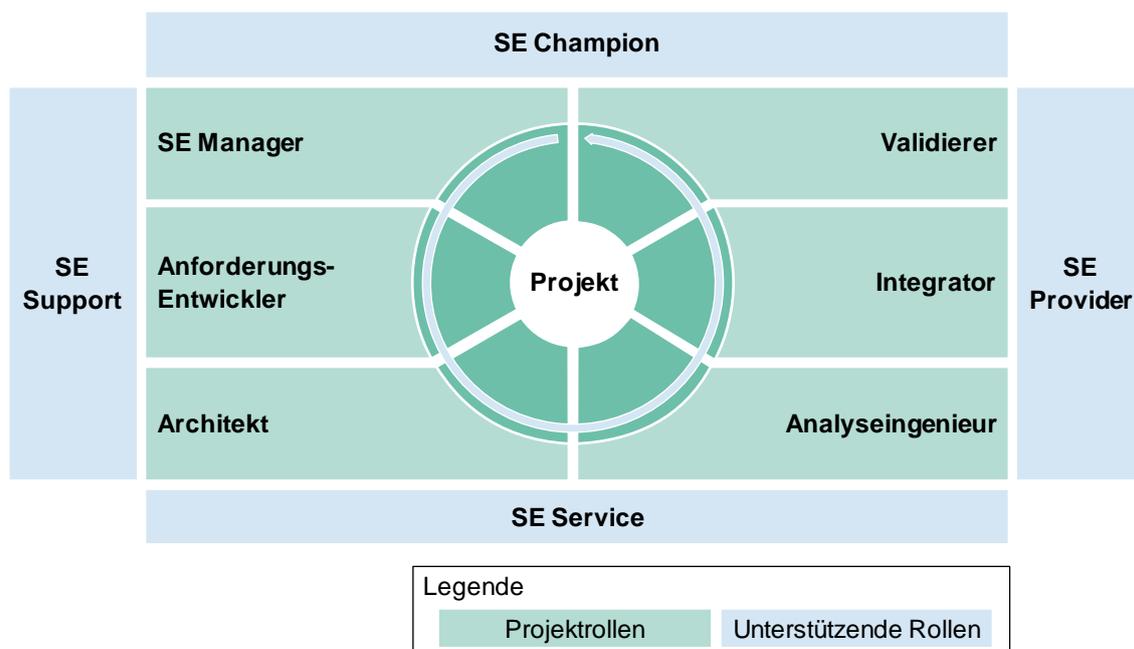


Bild 4-26: Ganzheitliches SE-Rollenkonzept

Projektrollen:

SE-Manager: Managt die technischen Bemühungen inklusive Planung und Controlling von Ressourcen. Moderiert im Projekt oder beauftragt die Moderation. Schlichtet im Falle von Konflikten.

Validierer: Verantwortet die Planung und Implementierung der Verifizierungs- und Validierungsbemühungen.

Anforderungsentwickler: Holt die Stakeholderbedarfe ein und übersetzt diese in Anforderungen. Erstellt die funktionale Architektur und die Spezifikation der Funktionen. Hat die Verantwortung für die Durchführung von Change Impact Analysen.

Integrator: Verantwortet die Integration der Teilsysteme und stellt proaktiv den Erfolg sicher. Trägt die Verantwortung für alle interne Interfaces. Verhindert ungewünschte Wechselwirkungen zwischen Teilsystemen.

Architekt: Erstellt die High-Level Architektur und Spezifikation der Subebene. Stellt die Machbarkeit der Subsysteme sicher und wählt Lösungen für wesentliche Teile aus.

Analyseingenieur: Bestätigt, dass das geplante System die Anforderungen erfüllen kann. Hierzu werden Analysen zu Performance, Zuverlässigkeit, Kosten, etc., durchgeführt, insbesondere auf Basis von Simulationen.

Unterstützende Rollen:

SE-Support: Unterstützt Anwender durch Support bei Rückfragen oder durch die Durchführung von Trainings.

SE-Champion: Prozessverantwortlich für SE. Gestaltet und optimiert SE-Prozesse und Methoden und stellt die Einhaltung dieser sicher. Koordiniert die unterstützenden Rollen aus fachlicher Sicht und stellt ein geeignetes Training für die SE-Rollen sicher. Koordiniert externe Tätigkeiten im Kontext der unterstützenden Rollen.

SE-Provider: Stellt die Verfügbarkeit von SE-Werkzeugen und Werkzeugketten sicher. Adaptiert Tools an Prozesse und Methoden.

SE-Service: Unterstützt in Projekten und führt SE-Aufgaben „as a Service“ aus, z. B. Moderation, Methodenanwendung, Toolbedienung, etc.

4.5.4.3 Archetypische SE-Organisationsstruktur

Neben den allgemeinen Kriterien zur Gestaltung einer Aufbauorganisation (Struktur und Logik, vgl. 4.5.4.1) ergeben sich vor dem Hintergrund der Integration von SE in bestehende Strukturen zwei weitere Fragestellungen. Die **Zentralität** beschreibt, ob die neuen Funktionen und Aufgaben eher zentral oder eher dezentral verortet werden sollen. Eine zentrale Verortung kann durch eigene Organisationseinheiten oder Stabsstellen (vgl. [SBL10]) umgesetzt werden, eine dezentrale Verortung verteilt dieselben Aufgaben auf

mehrere, dezentrale Organisationseinheiten. Die **Integration** neuer Aufgaben und Funktionen beschreibt, ob diese in einer neu geschaffenen Organisationseinheit eingefügt werden, oder eine bestehende Organisationseinheit erweitern.

Struktur, Logik und Integration sind hochgradig von den konkreten Rahmenbedingungen eines Unternehmens abhängig, insbesondere, da SE nur einer von vielen Aspekten ist, der Einfluss auf die Gestaltung der Aufbauorganisation nimmt. Die Zentralität ist hingegen ein allgemeingültigeres Kriterium, die hiermit verbundenen Vor- und Nachteile gleichen sich für unterschiedliche Arten von Unternehmen. Daher wird im Folgenden die Zentralität als Basis für die Ableitung von Archetypen genutzt. Zur Vereinfachung werden die drei bekannten Funktionen Anwendung, Support und Weiterentwicklung betrachtet, die dahinterstehenden Aufgaben werden ausgeblendet. Tabelle 4-10 beschreibt die Vor- und Nachteile von zentraler und dezentraler Verortung.

Tabelle 4-10: Vor- und Nachteile von (De-)Zentralisierung in der SE-Organisation

Funktion	Dezentral	Zentral
Anwendung	<ul style="list-style-type: none"> + Nah an Bedarfen + Tiefere Integration im Arbeitsalltag - Zusätzliche Aufgaben erzeugen Widerstände 	<ul style="list-style-type: none"> + Sicherstellung einheitlicher Anwendungsqualität - Nur eingeschränkt möglich (für einzelne Methoden) - Aufbau umfassender Zentralorganisation notwendig
Support	<ul style="list-style-type: none"> + Support nah an Anwendern + Breitere Streuung des Wissens - Weniger zentrale Kontrolle - Weniger Synergieeffekte 	<ul style="list-style-type: none"> + Synergiepotentiale + Einheitliche Qualität und konsistenter Support + Kontrolle über Tooling - Geringere Nähe zu Anwendern
Weiterentwicklung	<ul style="list-style-type: none"> + Keine Zentralbereich notwendig - Risiko des „Zerfaserns“ der Aktivitäten - Risiko für Widersprüche und steigende Probleme an Schnittstellen 	<ul style="list-style-type: none"> + Bereichsübergreifende Kompatibilität zentral sichergestellt - Geringere Akzeptanz für „Vorgaben“ aus Zentralbereichen

Jede der drei zentralen SE-Funktionen im Unternehmen (Anwendung, Support, Weiterentwicklung) kann jeweils zentral oder dezentral geplant werden. Daraus ergeben sich acht (2³) Kombinationsmöglichkeiten. Von diesen acht sind jedoch nur die vier in Bild 4-27 dargestellten Kombinationen auch plausibel: Eine zentralisierte Verortung der Anwendung, beispielsweise im Rahmen einer „SE as a Service-Abteilung“ ist nur dann sinnvoll, wenn auch Support und Weiterentwicklung zentral stattfinden. Ist dies nicht der Fall, müsste die zentrale SE-Anwendung in der Lage sein, sich dezentral verändernde Prozesse, Methoden und Werkzeuge in gleicher Qualität anzuwenden. Dies führt entweder

zu einem sehr hohen und nicht erstrebenswerten Overhead oder zu einer defacto Teilung der zentralen SE-Anwendung in bereichsabhängige Subgruppen. Diese weisen jedoch, abgesehen von der Finanzierung, eher dezentrale Eigenschaften auf. Selbiges gilt für den Fall eines zentralen SE-Supports bei dezentraler Weiterentwicklung.

		Archetypen			
		Dezentral integriert	Anwendung mit zentralen Vorgaben	Anwendung mit zentralen Vorgaben und Support	Zentralisierter Service
Aufgabenbereiche	SE Anwendung	Dezentral	Dezentral	Dezentral	Zentral
	SE Support	Dezentral	Dezentral	Zentral	Zentral
	SE Weiterentwicklung	Dezentral	Zentral	Zentral	Zentral

Bild 4-27: Plausible Archetypen der Aufbauorganisation auf Basis der Verortung der Organisationsfunktion auf zentrale oder dezentrale Weise

Die vier resultierenden Ausprägungen dienen als Orientierungshilfe und Ausgangspunkt zur Gestaltung der jeweils eigenen Aufbauorganisation. In der Praxis werden auch Mischformen zwischen den Archetypen auftreten, insbesondere können einzelne Aufgaben aus einem Funktionsfeld unterschiedlich zugeordnet werden. Eine typische solche Konstellation ist die Folgende: die Aufgabe „MBSE-IT-Werkzeugkette bereitstellen“ wird zentral in der schon existierenden Engineering-IT verortet, während die Aufgabe „Methodensupport für Modellierungsmethoden leisten“ dezentral in verschiedenen Sparten organisiert wird. Jeder Archetyp wird wie in Bild 4-28 dargestellt mittels eines Steckbriefes beschrieben, die verbleibenden Steckbriefe sind in Anhang A7 einzusehen.

Name: Anwendung mit zentralen Vorgaben und Support	Datum: 4.4.2019	Stand: 1.2
	Basis-Archetyp: <input type="checkbox"/> Dezentral integriert <input checked="" type="checkbox"/> Zentr. Vorgaben u. Support <input type="checkbox"/> Zentrale Vorgaben <input type="checkbox"/> Zentral integriert	
Ausprägung SE Anwendung: Die SE Anwendung erfolgt vollständig dezentral. Alle operativen SE- Aufgaben werden dementsprechend von Anwendern übernommen, die in ihrem jeweiligen Fachbereich verortet sind. SE-Services werden nicht angeboten. Methoden- und Werkzeugkompetenzen müssen in allen Bereichen, die SE Anwenden sollen, aufgebaut werden.		dezentral
Ausprägung SE Support: Der Support für SE Tätigkeiten erfolgt zentralisiert. Eine zu diesem Zweck eingerichtete Organisationseinheit steht bei prozess-, methoden-, und toolseitigen Fragen oder Problemen zur Verfügung. Die notwendige IT-Infrastruktur wird aus einer zentralen IT Einheit heraus bereitgestellt. Auch die Durchführung von Schulungen erfolgt über die beiden Organisationseinheiten.		zentral
Ausprägung SE Weiterentwicklung: Ein SE Champion wurde Zentral als Stabsstelle installiert. Er entwickelt SE proaktiv, auf Basis von Veränderungen am Markt und reaktiv, auf Basis der Rückmeldungen aus der Anwendung und dem Support, weiter. Dabei stellt er sicher, dass die Ansätze der SE-Services auch über Bereichsgrenzen hinweg kompatibel bleiben und ist Verantwortlich für das „Train-the-Trainer“ Konzept.		zentral
Vorteile der Struktur: <ul style="list-style-type: none"> Der SE Champion sichert die Unternehmensweite Kompatibilität der genutzten Ansätze Support und Champion bilden eine zentrale Anlaufstelle und könne Bedarf für globale Änderungen schnell identifizieren Übergreifende Wiederverwendung u. Synergieeffekte werden stark unterstützt Der zentrale Support stellt ein einheitliches Verständnis aller Anwender sicher 		Nachteile der Struktur: <ul style="list-style-type: none"> Support Organisation muss aufgebaut werden Einrichtung einer zentralen IT widerspricht den häufig anzutreffenden dezentralen Engineering IT Abteilungen Höhere Abstimmungsaufwände für Support u. Training damit alle Bereiche zufrieden sind Risiko für Akzeptanzprobleme bei zentral getriebenen Veränderungen
Skizze <p>Das Organigramm zeigt eine hierarchische Struktur. Oben befindet sich ein breiter Balken für 'Management'. Darunter sind drei vertikale Spalten für 'Bereichsleitung' (rosa) und 'SE Anwender' (rosa). Die 'SE Anwender' sind in mehreren vertikalen Spalten für 'Abteilungen/Gruppen' (grün) unterteilt. Ein 'SE Champion' (grün) ist als Stabsstelle im Management dargestellt. Ein 'SE Support' (gelb) ist ebenfalls im Management dargestellt. Pfeile verdeutlichen die Interaktionen: Ein grüner Pfeil führt vom 'SE Champion' zu den 'Abteilungen/Gruppen'. Ein gelber Pfeil führt vom 'SE Support' zu den 'Abteilungen/Gruppen'. Ein grüner Pfeil führt von den 'Abteilungen/Gruppen' zum 'SE Support'. Ein grüner Pfeil führt von den 'Abteilungen/Gruppen' zum 'SE Champion'. Ein grüner Pfeil führt von den 'Abteilungen/Gruppen' zum 'SE Support'. Ein grüner Pfeil führt von den 'Abteilungen/Gruppen' zum 'SE Champion'.</p>		

Bild 4-28: Steckbrief Archetyp III: Anwendung mit zentralen Vorgaben und Support

4.5.4.4 Organisationsstruktur-Baukasten

Der Baukasten besteht aus einem Vorgehensmodell und Hilfsmitteln zur Unterstützung dieses Modells. Das Vorgehensmodell besteht, wie in Bild 4-29 dargestellt, aus drei verpflichtenden und einer situationsabhängig optionalen Phase. In der ersten Phase werden alle relevanten **Aufgaben** der zukünftigen Aufbauorganisation definiert und die verfügbaren Freiheitsgrade der Gestaltung überprüft. Falls diese eine grundlegende Veränderung der gesamten Aufbauorganisation zulassen, wird in der optionalen Phase 1a die neue

Grundstruktur der Aufbauorganisation definiert. Wenn keine grundsätzliche Neugestaltung der Struktur möglich ist, wird direkt mit Phase 2 fortgefahren. Phase 2 bildet den Hauptteil des Vorgehens. Dazu wird eine **Verortung** der identifizierten Aufgaben zu bestehenden oder neuen Organisationen durchgeführt und die Konsistenz der neuen Funktionen mit den bereits verfügbaren Rollen sichergestellt. Abschließend werden die Ergebnisse **dokumentiert**.

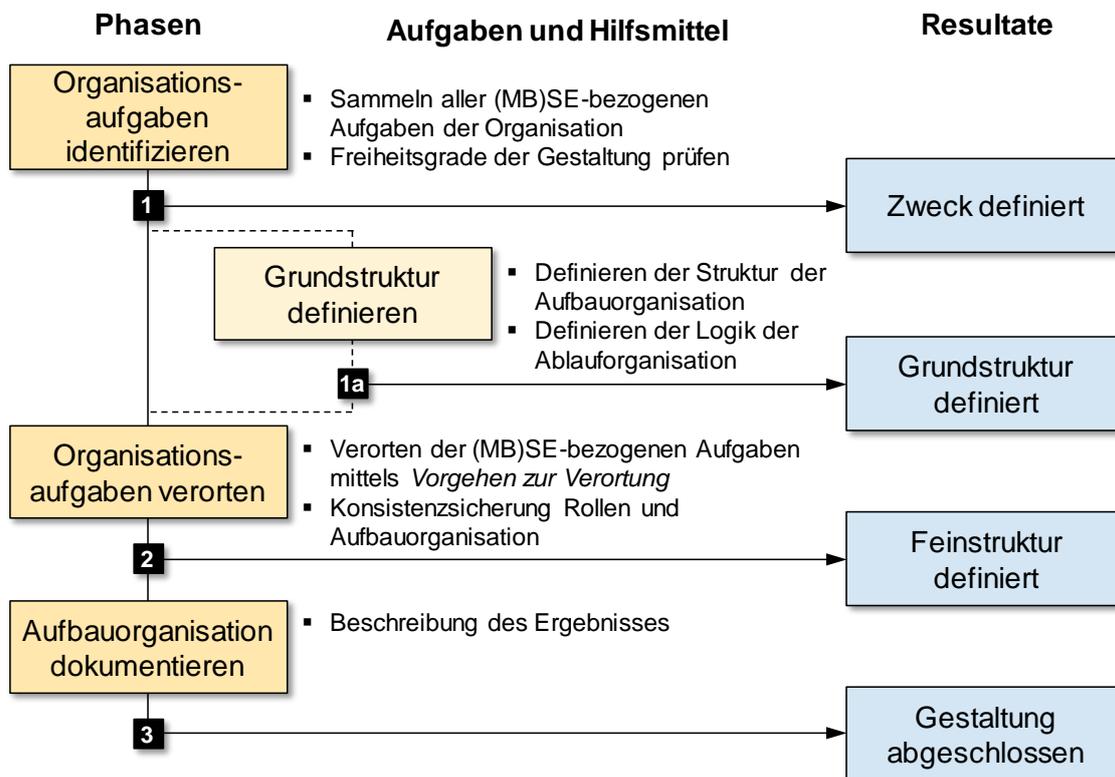


Bild 4-29: Vorgehen zur SE-gerechten Gestaltung der Aufbauorganisation

Phase 1: Organisationsaufgaben identifizieren

Abhängig von den im Operationalisierungskonzept identifizierten Zielen ergibt sich Bedarf für die Erfüllung unterschiedlicher Aufgaben im Rahmen der genannten Funktionen. Diese Aufgaben gilt es zunächst in einer Liste zu dokumentieren, wobei neben dem Namen der Aufgabe auch die Zugehörigkeit zur übergeordneten Funktion und eine kurze textuelle Beschreibung der Aufgabe dokumentiert wird. Zum Abschluss des ersten Schrittes gilt es zudem zu überprüfen, welche Freiheitsgrade zur Gestaltung der Aufbauorganisation vorliegen. Üblicherweise muss in Großunternehmen von geringen Freiheiten ausgegangen werden, da der Aufwand für eine völlige Umstrukturierung einer Organisation (z. B. F&E Organisation) zu hoch ist. Dies ist nicht kritisch, da auch ohne eine völlige Neugestaltung der Aufbauorganisation eine SE-gerechte Gestaltung dieser möglich ist. In Ausnahmefällen kann die entsprechende Freiheit jedoch gegeben sein.

Phase 1a (optional): Grundstruktur definieren

Wenn eine völlige Neugestaltung der Organisationsstruktur möglich ist, wird Schritt 1a durchgeführt, Ansonsten wird er übersprungen. Aufgrund der unwahrscheinlichen Anwendung wird dieser Schritt nur kurz beschrieben.

Zur Definition der Grundstruktur müssen zwei wesentliche Entscheidungen getroffen werden. Erstens muss die Struktur der Organisation festgelegt werden, zweitens die zugrundeliegende Logik (vgl. Kapitel 4.5.1). Hier können etablierte Ansätze der Organisationsgestaltung angewendet werden (vgl. [SBL10]). Rahmenwerke wie TOGAF unterstützen eine entsprechende Planung ebenfalls.

Phase 2: Organisationsaufgaben verorten

In der zweiten Phase gilt, es die in Phase 1 identifizierten Aufgaben in der Struktur der Aufbauorganisation zu verorten. Dabei stehen zwei Fragen im Vordergrund: Soll die Aufgabe **zentral oder dezentral** verortet werden und soll die Aufgabe in eine **bestehende Organisationseinheit** integriert werden **oder** wird eine **neue Einheit** geschaffen? Auf Basis dieser Fragen ergibt sich das in Bild 4-30 dargestellte Vorgehen, welches für jede identifizierte Aufgabe wiederholt wird. Die vorgestellten archetypischen Strukturen können dabei vom Anwender als Orientierungshilfe genutzt und unternehmensspezifisch verfeinert werden. Das Vorgehen wird nachfolgend näher beschrieben.

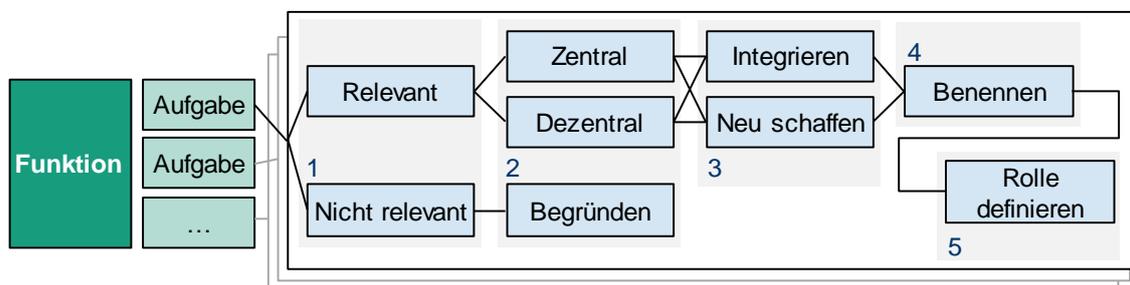


Bild 4-30: Vorgehen zur Verortung

In **Schritt 1** wird die Relevanz jeder identifizierten Aufgabe geprüft. Dies gilt insbesondere bei Wiederverwendung von Aufgaben anderen Unternehmen. Ist die Aufgabe relevant, wird das reguläre Vorgehen weiterverfolgt. Ist sie nicht relevant, wird dies zusammen mit einer Begründung dokumentiert und das Vorgehen beginnt für die nächste Aufgabe von vorn. Nicht relevant ist eine Aufgabe beispielsweise dann, wenn sie extern verortet werden soll. Dies ist gerade im Bereich von Schulungen, aber auch für die Moderation von Workshops verbreitet. **Schritt 2** behandelt die Kernfrage, ob die Aufgabe zentral oder dezentral verortet werden soll. Tabelle 4-10 beschreibt die Vor- und Nachteile von zentraler und dezentraler Verortung.

Schritt 3 behandelt die Kernfrage, ob die Aufgabe in eine bestehende Einheit integriert wird oder eine neue Organisationseinheit geschaffen werden soll. Dies hängt maßgeblich

von den existierenden Organisationseinheiten, deren Kompetenzen und Selbstverständnissen ab. Die Entscheidung wird in **Schritt 4** durch die Benennung einer Organisationseinheit dokumentiert: Im Falle der Integration wird dies durch die Bezeichnung der bestehenden Einheit dokumentiert, im Falle der Erschaffung einer neuen Organisationseinheit wird diese entsprechend benannt. Eine Beschreibung der Einheit erfolgt erst nach dem kompletten Durchlauf der Aktivitäten, da wahrscheinlich mehrere Aufgaben einer Einheit zugeordnet werden und diese Aufgaben wesentlicher Teil der Beschreibung der Organisation sind.

Abschließend wird in **Schritt 5** eine Verknüpfung zwischen der verorteten Aufgabe und einer im Unternehmen beschriebenen Rolle durchgeführt. Diese Rolle kann sowohl eine bereits etablierte Rolle sein als auch eine im Rahmen der SE-Einführung neu definierte Rolle. Hieraus ergibt sich die Möglichkeit, die Konsistenz und Vollständigkeit von Organisation und Rollenbeschreibungen zu prüfen und gegebenenfalls zu optimieren. Kann eine Aufgabe mit keiner Rolle sinnvoll verknüpft werden, ist dies ein Hinweis auf fehlende Rolle. Kann eine Aufgabe zwar verknüpft werden, passt aber nur eingeschränkt zur Rollenbeschreibung, ist dies ein Hinweis auf den Bedarf einer Aktualisierung der Rollen. Sind eine oder mehrere Rollen nach der Verknüpfung der Aufgaben ohne Verknüpfung fehlen entweder Aufgaben der Organisation oder die Rollen sind im Kontext der neuen Organisation nicht von Bedeutung. Die einzelnen Schritte können durch eine entsprechend formatierte Tabelle einfach und benutzerfreundlich unterstützt und die Ergebnisse direkt dokumentiert werden. Dies ist in Bild 4-31 dargestellt.

Funktion	Aufgabe	Relevant	Verortung		Integration		Ausgefüllt durch Rolle	Grund für n. relevant
		j/n	Dezentral	Zentral	bestehende Organisation	neue Organisation		
Anwendung	Anforderungen identifizieren	J	✓		Projektorganisation		Anforderungsmanager	
Support	Schulungen durchführen	N						Externe Durchführung
	IT-Tools bereitstellen	J		✓	Zentral IT		Engineering IT Architekt	
	Methoden-Support Anforderungsmanagement leisten	J	✓		Key-User		Key-User SE Methoden	
Weiterentwicklung	SE proaktiv weiterentwickeln	J		✓		SE Team / Leitung	SE Champion	

Bild 4-31: Unterstützung des Vorgehens in Excel

Phase 3: Aufbauorganisation dokumentieren

Abschließend werden die Ergebnisse dokumentiert. Hierzu wird zum einen das Organigramm des Unternehmens aktualisiert und zum anderen werden die neuen Organisationseinheiten auf Basis der durchzuführenden Aufgaben beschrieben. Beschreibungen bestehender Organisationseinheiten werden entsprechend gemäß den neu hinzugekommenen Aufgaben erweitert.

5 Anwendung des Rahmenwerks

Als Laufzeit für ein durchschnittliches SE-Einführungsprojekt wird in der Industrie aktuell 7 Jahren gerechnet [SBI+19]. Eine Validierung des Rahmenwerks ist dementsprechend im Rahmen der vorliegenden Arbeit nicht möglich. Stattdessen wird das Rahmenwerk anhand eines konstruierten Beispiels exemplarisch angewendet. In Kapitel 5.1 wird zunächst das Anwendungsbeispiel näher erläutert. Anschließend wird die Anwendung des Rahmenwerks entlang der einzelnen Phasen des Operationalisierungskonzepts erläutert. Kapitel 5.2 enthält die Bewertung des Rahmenwerks anhand der Anforderungen an die Arbeit.

5.1 Anwendungsbeispiels ConWhirl

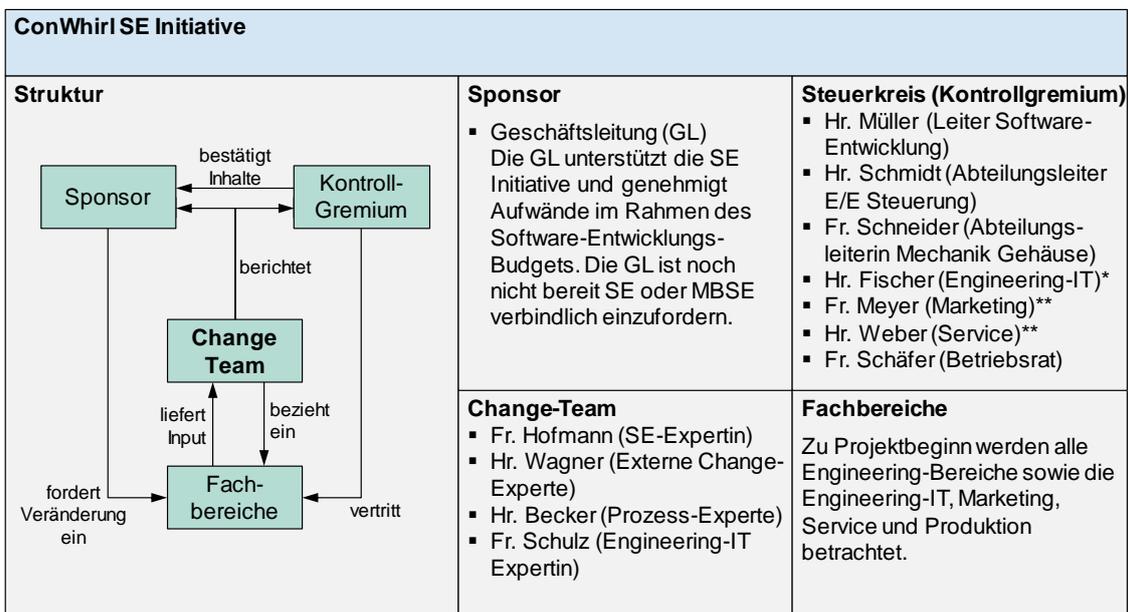
Die Anwendung des Rahmenwerks erfolgt am Beispiel des imaginären Unternehmens ConWhirl, einem Hersteller von Haushaltsgeräten mit einem breiten Produktportfolio, insbesondere mit Geräten für Küchen und Wäschepflege. ConWhirl entwickelt in Deutschland, die Produktion verteilt sich über mehrere, europäische Standorte. Insgesamt beschäftigt ConWhirl 15.000 Mitarbeiter, davon etwa 500 in unterschiedlichen Entwicklungsbereichen. ConWhirl hat große Kompetenz in den Bereichen der Mechanik- und E/E-Entwicklung und baut seine Kompetenz im Bereich Softwareentwicklung aus, um dem steigenden Bedarf nach vernetzten Haushaltsgeräten nachzukommen. Es wird jedoch zunehmend deutlich, dass die Zusammenarbeit zwischen den Disziplinen nicht optimal abläuft und die entwickelten vernetzten Systeme am Markt nicht den gewünschten Erfolg haben. Der neue Leiter der Softwareentwicklung, Hr. Müller, hat bei einem vorherigen Arbeitgeber gute Erfahrungen mit Systems Engineering gemacht und möchte daher SE auch bei ConWhirl einführen. Der Geschäftsleitung ist die schlechte Zusammenarbeit der Disziplinen bekannt, Lösungen hierfür werden prinzipiell begrüßt. Das notwendige Verständnis für SE ist in der Geschäftsleitung jedoch noch nicht vorhanden, weshalb der Leiter der Softwareentwicklung zwar ein Budget für SE erhält, die sonstigen Bereiche jedoch nicht aktiv in Richtung SE getrieben werden. Die Leiter der sonstigen Entwicklungsbereiche haben sich noch keine Meinung zu SE gebildet und möchten entsprechend keine großen Investitionen oder Veränderungen riskieren. Einzelne Abteilungsleiter haben sich in Gesprächen mit Herrn Müller jedoch interessiert gezeigt.

5.1.1 Phase 1: Einführung initialisieren

Change-Organisation aufsetzen

Ausgehend von der beschriebenen Situation möchte der Leiter der Softwareentwicklung die Einführung SE bei ConWhirl anstoßen. Gemäß des Operationalisierungskonzepts setzt er zunächst die notwendige **Change-Organisation** auf. Die Geschäftsleitung wird

als Sponsor identifiziert, wengleich noch Maßnahmen notwendig sind, um diese vollständig zu überzeugen. Die initial betrachteten Fachbereiche sind alle Engineeringbereiche, die Engineering-IT, das Marketing, der Service und die Produktion. Der Steuerkreis setzt sich aus Vertretern dieser Bereiche zusammen. Neben Herr Müller werden die positiv gestimmten Abteilungsleiter Hr. Schmidt und Fr. Schneider die Entwicklung im Steuerkreis vertreten. Die Engineering-IT sendet einen Mitarbeiter als Vertreter, ebenso Marketing und Service. Die beiden letztgenannten sehen den Mehrwert jedoch noch nicht, eine rege Beteiligung am Steuerkreis ist damit zunächst fraglich. Das Change-Team setzt sich aus internen Experten der Bereiche SE, Prozesse und Engineering-IT und einem extern zugekauften Experten für Change Management zusammen (vgl. Bild 5-1).



*) operative Mitarbeiter, jeweils vom Bereichsleiter entsandt.
 **) nur unter Vorbehalt zugesagt.

Bild 5-1: ConWhirl Change-Organisation

SE Ambition definieren

Ausgehend von der bekannten Situation wird zunächst eine Stakeholderanalyse durchgeführt. Dabei wird festgestellt, dass bereits die meisten der wichtigen Stakeholder in der Change-Organisation vertreten sind, der Betriebsrat jedoch vergessen wurde. Nachdem dieser in den Steuerkreis aufgenommen wurde, wird im nächsten Schritt die SE-Ambition vom Change-Team in Abstimmung mit dem Steuerkreis definiert. Da im Steuerkreis noch keine vollständige Überzeugung gegenüber dem Thema SE besteht, wird die **Ambition** so formuliert, dass sie unabhängig vom Begriff Systems Engineering den Mehrwert in der angestrebten Situation transparent macht: 2025 ist ConWhirl ein führender Anbieter für intelligente Hausgeräte, der auf Basis interdisziplinärer Lösungen die Bedarfe der Kunden adressieren. Im Rahmen der Entwicklung ist die bereichsübergreifende Kooperation der zentrale Erfolgsfaktor.

SE-Ziele definieren

Zur **Identifikation** der Herausforderungen wird zunächst eine Prozessanalyse nach OMEGA durchgeführt. Als Ansprechpartner nutzt das Change-Team die Mitglieder des Steuerkreises und mehrere Projektleiter. Die initiale Aufnahme des Prozesses erfolgt im Rahmen von Interviews, die Ergebnisse werden in gemeinsamen Review Workshops konsolidiert. Auf Basis der geäußerten Herausforderungen, sowie der Analyse des Prozesses durch den Prozessexperten Hr. Becker wird zunächst eine Liste der Herausforderungen („Pain Points“) erarbeitet. Für jede Herausforderung werden ein oder mehrere Mehrwerte abgeleitet, die sich durch das Abstellen des Pain Points erreichen lassen. Jedem Mehrwert weist das Change-Team im Anschluss die Ziele zu, zu denen der Mehrwert beiträgt. Mögliche Ziele werden dabei der Ziel-Tabelle in Anhang A2.3 übernommen. Tabelle 5-1 stellt die Ergebnisse dieser Schritte dar.

Tabelle 5-1: Pain Points, Mehrwerte und Ziele der ConWhirl SE-Einführung

Nr.	Pain Point	Mehrwert	Ziele
1	Flurfunk als Startpunkt für Projekte	Kontrollierter Start von Projekten	Besser informieren, Ärger vermeiden, Zeit/Iterationen einsparen, Arbeit orchestrieren
2	Schlechte Dokumentenqualität	Vollständigere, Korrektere und Verständlichere Dokumente	Transparenz ermöglichen, Redundanz reduzieren, Gültigkeit sicherstellen
3	Anforderungen zu Projektbeginn nicht klar	Bessere Fokussierung auf das wesentliche zu Projektbeginn	Transparenz ermöglichen, Besser informieren, Ärger vermeiden, Kunden besser verstehen, Umsätze erhöhen
4	Anforderungen missverständlich formuliert	Weniger Fehler aufgrund von Fehlinterpretationen	Ärger vermeiden, Zeit/Iterationen einsparen, Änderungen reduzieren, Risiken reduzieren
5	Gültigkeit von Anforderungen unklar	Weniger Fehler aufgrund von unterschiedlichen Ständen der Anforderungen	Ärger vermeiden, Zeit/Iterationen einsparen, Änderungen reduzieren, Risiken reduzieren
6	Unklare Ansprechpartner	Weniger Zeitverlust bei der Suche nach Ansprechpartnern	Ärger vermeiden, Disziplinübergreifende Zusammenarbeit verbessern
7	Frühzeitige Einbindung der Software-Entwicklung fehlt	Interdisziplinäre Lösungssuche	Disziplinübergreifende Zusammenarbeit verbessern, Arbeit orchestrieren, Zeit/Iterationen einsparen, Ärger vermeiden
8	Fehlendes Verständnis für andere Disziplinen	bessere Zusammenarbeit der Disziplinen	Disziplinübergreifende Zusammenarbeit verbessern
9	Späte betrachtung von Software erfordert Architektur-Änderungen	Weniger Iterationsschleifen in der Entwicklung	Zeit/Iterationen einsparen
53	Test nicht bereit für Vernetzte Systeme	Sicherstellung der Qualität vernetzter Systems	Anforderungen erfüllen

Der nächste Schritt ist die **Priorisierung** der Ziele. Der Steuerkreis plädiert darauf, sich auf 10 Ziele zu beschränken, um das weitere Vorgehen zu vereinfachen. Beim Kürzen der Zielliste werden die Ziele entfernt, die auch mit einzelnen Maßnahmen gut zu erreichen sind, oder die von allen als niedrig priorisiert angesehen werden. Daraus resultieren schlussendlich die folgenden 10 Ziele: *Änderungen reduzieren, Arbeit orchestrieren, Ärger vermeiden, Disziplinübergreifende Zusammenarbeit verbessern, Kunden besser verstehen, Redundanz reduzieren, Risiken reduzieren, Transparenz ermöglichen, Umsätze erhöhen* und *Zeit/Iterationen einsparen*. Diese werden im nächsten Schritt mittels der **Vergleichsmatrix der Ziele** bewertet, um eine Priorisierung zu erhalten. Die Matrix wird im Rahmen eines gemeinsamen Workshops mit dem Steuerkreis ausgefüllt. Dabei wird z. B. festgelegt, dass die Ziele „Disziplinübergreifende Zusammenarbeit“ und „Kunden besser verstehen“ gleich wichtig sind. Entsprechend wird eine 1 in die Vergleichsmatrix in Zeile 4, Spalte 5 eingetragen. Die vollständige Matrix ist in Bild 5-2 dargestellt.

Vergleichsmatrix der Ziele													
Fragestellung: „Wie wichtig ist das Ziel i (Zeile) im Vergleich mit dem Ziel j (Spalte)?“ Bewertungsskala: 1/n: Ziel Z ist weniger wichtig als Ziel S 1: Beide Ziele sind gleich wichtig n: Ziel Z ist wichtiger als Ziel S Mögliche Ausprägungen von n entnehmen Sie der beigefügten Tabelle.													
Nr. Verbesserungsziel	Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Gewichtung	Konsistenzverhältniszahl Ziel: < 0,1
1	Änderungen reduzieren		1	1	1/5	1/5	1/2	1/5	1	1/4	1/3	3%	0,10
2	Arbeit orchestrieren	1		1	1/5	1/5	1/2	1/5	1	1/4	1/3	3%	
3	Ärger vermeiden	1	1		1/5	1/5	1/2	1/5	1	1/4	1/3	3%	
4	Disziplinübergreifende Zusammenarbeit verb.	5	5	5		1	3	1	5	2	2	19%	
5	Kunden besser verstehen	5	5	5	1		3	1	5	2	2	19%	
6	Redundanz reduzieren	2	2	2	1/3	1/3		1/3	2	1	1	8%	
7	Risiken reduzieren	5	5	5	1	1	3		1/5	1/2	1/2	13%	
8	Transparenz ermöglichen	1	1	1	1/5	1/5	1/2	5		1/4	1/3	7%	
9	Umsätze erhöhen	4	4	4	1/2	1/2	1	2	4		1	13%	
10	Zeit/Iterationen einsparen	3	3	3	1/2	1/2	1	2	3	1		11%	

Bild 5-2: ConWhirl Vergleichsmatrix der Ziele

Es ergeben sich als wichtigste Ziele „Disziplinübergreifende Zusammenarbeit verbessern“ und „Kunden besser verstehen“ mit einer Gewichtung von jeweils 19 %, gefolgt von „Risiken reduzieren“ und „Umsätze erhöhen“ mit jeweils 13 %. Der Konsistenzwert K_i beträgt 0,1. Da die betrachtete Matrix mit 10 Elementen groß ist und K_i Werte bis 0,2 akzeptabel sind, gilt die Bewertung als konsistent. Da die beschriebenen Ziele zur Ambition passen und kein bereichsspezifisch wichtiges Ziel niedrig priorisiert wurde, akzeptiert das Kontrollgremium, dass einzelne Ziele sehr niedrig priorisiert sind. Die Berechnung eines Rangindizes ist daher nicht notwendig, zudem kann die Ambition auf Basis der Ziele in ein erstes Leitbild überführt werden. Das Ergebnis wird entsprechend im **Master Plan of Action** eingetragen (ohne Abbildung). Abschließend wird die Checkliste

„Initialisierung“ abgearbeitet, um zu prüfen, ob das Einführungsprojekt bereit für den Übergang in die nächste Phase ist (ohne Abbildung). Dabei fällt auf, dass die Vision bislang nicht kommuniziert wurde. Dies wird mit Unterstützung der Sponsoren nachgeholt.

5.1.2 Phase 2: Einführung planen

Ist-Leistungsstand ermitteln

Start der Phase Einführung planen ist die Analyse der Ausgangssituation mithilfe des **Reifegradmodells**. Vor der Bewertung der Ist-Situation wird mithilfe der Zielbeitragsmatrix der Handlungselemente geprüft, welche Prozesse betrachtet werden müssen. Zu diesem Zweck werden zunächst die relevanten Handlungselemente (Prozessbereiche) gesammelt und in der Matrix eingetragen. Im nächsten Schritt wird der Beitrag der Handlungselemente zu den Zielen im Rahmen eines gemeinsamen Workshops von Change-Team und Kontrollgremium definiert und wie in Bild 5-3 dargestellt in der Zielbeitragsmatrix der Handlungselemente eingetragen.

Zielbeitragsmatrix der Handlungselemente			Verbesserungsziel	Verbesserungsziel				Zeit/Iterationen einsparen	Breitenwirkung	Tiefenwirkung	Zielbeitragsindex	Gewichteter Zielbeitragsindex
Kategorie	Prozess-kategorie	Handlungselement		Nr.	Änderungen reduzieren	Arbeit orchestrieren	Ärger vermeiden					
			F _r oder G	3%	3%	3%	19%					
Prozesse	Technische Managementprozesse	Projektplanung	TM1	3	3	3	1	3	70	2,4	1,7	1,3
		Projektbewertung und -steuerung	TM2	0	3	2	0	2	50	2,2	1,1	0,8
		Entscheidungs-Management	TM3	1	0	2	0	2	50	1,8	0,9	0,7
		Risiko-Management	TM4	3	0	2	1	1	60	1,8	1,1	1,1
		Sicherstellung der Qualität	TM8	0	0	0	0	0	10	1,0	0,1	0,1
	Technische Prozesse	Geschäfts-/Missionsanalyse	T1	1	1	1	0	1	70	1,7	1,2	1,4
		Def. Stakeholder-Anforderungen	T2	2	1	2	1	2	90	1,9	1,7	1,9
		Anforderungsanalyse	T3	3	1	2	3	3	100	2,2	2,2	2,3
		Architekturgestaltung	T4	2	2	2	3	3	80	2,1	1,7	1,5
		Entsorgung	T14	0	0	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0
	Organisatorische Projekt-Unterstützungs-Prozesse	Projektportfoliomanagement	O1	1	1	0	1	0	70	1,6	1,1	1,4
		Infrastrukturmanagement	O2	0	0	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0
		Management Lebenszyklusmodel	O3	0	2	2	1	1	70	1,7	1,2	0,9
		Personalmanagement	O4	0	0	0	1	0	10	1,0	0,1	0,2
		Qualitätsmanagement	O5	0	0	2	0	0	20	2,0	0,4	0,3
		Wissensmanagement	O6	2	0	3	3	0	60	2,7	1,6	1,5
	Vertragsprozesse	Beschaffung	V1	0	0	1	0	0	10	1,0	0,1	0,0
		Zulieferung	V2	0	0	1	0	0	10	1,0	0,1	0,0

Bild 5-3: Zu betrachtende Prozesse bei ConWhirl

Ein Beispiel für eine Bewertung ist, dass eine geeignete Architekturgestaltung einen starken Beitrag („3“) zum Ziel „Disziplinübergreifende Zusammenarbeit verbessern“ leistet. Auf Basis der Bewertung werden Breiten- und Tiefenwirkung, der Zielbeitragsindex und der gewichtete Zielbeitragsindex berechnet. Als Schwellwert für die weitere Betrachtung von Prozessen wird ein gewichteter Zielbeitragsindex größer 1 definiert. Wie in Bild 5-3 dargestellt, ergeben sich somit für die weitere Betrachtung die folgenden Prozesse: *Projektplanung, Risiko-Management, Geschäfts-/Missionsanalyse, Definition von Stakeholder-Anforderungen, Anforderungsanalyse, Architekturgestaltung, Projektportfoliomanagement* und *Wissensmanagement*.

Auf Basis der bereits zur Zielidentifikation durchgeführten Interviews wird nun der Ist-Reifestand anhand des Reifegradmodells bewertet. Hierzu werden die Beschreibungen der Handlungselemente und Reifegrade mit dem Ergebnis der Ist-Aufnahme abgeglichen. Das Ergebnis wird im Reifegradmodell und dem MPA dokumentiert. Der Ist-Reifegrad im Beispiel wird durch die blau hinterlegten Felder des RGM im Master Plan of Action (vgl. Bild 5-5) dargestellt.

Das Ergebnis wird zunächst im Kontrollgremium freigegeben und anschließend an die Geschäftsleitung kommuniziert. Die niedrigen Reifegrade überraschen hier zunächst, können aber erklärt werden: Während die Prozesse in den einzelnen Bereichen durchaus etabliert sind, mangelt es an übergeordneten Prozessen. Mit Blick auf die gesamte Entwicklung fehlen also die entsprechenden Prozesse.

Zielreifegrade ermitteln

Im nächsten Schritt gilt es die Zielreifegrade mithilfe der **Zielbeitragsmatrix der Reifegrade** zu identifizieren. Hierzu wird ein Workshop von Change-Team und Kontrollgremium sowie je einem weiteren Vertreter aus jedem Fachbereich durchgeführt. Der Workshop wird vom Change-Experten moderiert. SE- und Prozessexperten des Change-Teams erklären den Teilnehmern für jeweils ein Handlungselement grob die erwarteten Auswirkungen der Reifegrade auf die Organisation. Im Anschluss schätzen die Teilnehmer den Zielbeitrag jedes Reifegrads zu den definierten Zielen. So wird beispielsweise geschätzt, dass eine individuell ausgeprägte Denkweise nicht zum Ziel „Änderungen reduzieren“ beiträgt, während eine etablierte Denkweise zum selben Ziel einen mittleren Beitrag leistet. Das Ergebnis ist in Bild 5-4 dargestellt. Auf Basis der Berechnungsvorschriften (vgl. Kapitel 4.4.4) ergeben sich für jedes Handlungselement die Ziel-Leistungsstufen auf Basis des Ziel-Beitrags. Der Zielreifegrad im Beispiel wird durch die grün hinterlegten Felder des RGM im Master Plan of Action (vgl. Bild 5-5) dargestellt.

Zielbeitragsmatrix der Reifegrade				Verbesserungsziel								
Fragestellung: "Wie stark trägt die Leistungsstufe i des Handlungselements (Zeile) zum Verbesserungsziel j (Spalte) bei?" Bewertungsskala: 0 = kein Beitrag 1 = schwacher Beitrag 2 = mittlerer Beitrag 3 = starker Beitrag				Nr.	1	2	3	Umsätze erhöhen	Zeit/Iterationen einsparen	Gewichtete Wirkung (GW)	GW-Fortschritt im Vergleich zur vorherigen Stufe	Rang innerhalb des Handlungselements
				P _z	3%	3%	3%	9	10	13%	11%	
Kategorie	Element	Leistungsstufe										
Grundlagen	Denkweise	Individuell/Ad hoc	1	0	0	0	0	0	0,0	0,0	3	
		Fragmentiert	2	0	0	0	0	0	0,0	0,0	3	
		Etabliert	3	2	2	3	1	2	1,9	1,9	1	
		Optimiert	4	2	2	3	1	2	2,1	0,2	2	
	Wissensbasis	Individuell/Ad hoc	1	0	0	0	0	0	0,7	0,7	2	
		Fragmentiert	2	0	0	1	0	1	0,8	0,1	3	
		Etabliert	3	1	0	2	0	2	2,3	1,5	1	
		Optimiert	4	1	0	3	0	2	2,3	0,0	4	
Organisation	SE-Aufbau-Organisation	Verantwortliche definiert	1	0	0	1	0	0	0,0	0,0	3	
		Stellen besetzt	2	1	2	2	1	1	2,4	2,4	1	
		Support verfügbar	3	2	2	3	1	2	2,6	0,2	2	
		Service verfügbar	4	2	2	3	1	2	2,6	0,0	4	
	SE-Anreizsystem	Individuell/Ad hoc	1	0	0	0	0	0	0,0	0,0	3	
		Fragmentiert	2	1	0	0	0	0	0,7	0,7	1	
		Etabliert	3	2	0	1	0	1	1,2	0,5	2	
		Optimiert	4	2	0	1	0	1	1,2	0,0	3	
Prozesse	Projektplanung	Ad Hoc / undefiniert	1	0	0	0	0	0	0,0	0,0	5	
		Individuell gesteuert	2	1	1	0	0	0	0,7	0,7	2	
		Definiert und Etabliert	3	2	2	2	0	2	1,7	1,0	1	
	SE Rollen und Prozesse	Quantitativ Vorhersehbar	4	3	3	3	0	3	2,0	0,2	3	
		Optimiert	5	3	3	3	0	3	2,0	0,2	3	
		Ad Hoc / undefiniert	1	0	0	0						
	Projektplanung	Grundlagen										
		MBSE										

Bild 5-4: Zielbeitragsmatrix für ConWhirl

Auswahl des Motivationskonzepts

Nach der Anwendung des Reifegradmodells muss das Change-Team sich für einen geeigneten Motivationsansatz entscheiden. Im vorliegenden Fall wird die Einführung aus einem überzeugten Einzelbereich getrieben, infrage kommen demzufolge die Konzepte e) Leuchtturmprojekt zum Überzeugen der Sponsoren und f) Projekt(e) zur Motivation in der Breite. Die Geschäftsleitung ist zwar noch nicht überzeugt, hat jedoch ein Budget für SE bereitgestellt. Herr Müller überlegt gemeinsam mit dem Change-Team, welcher Ansatz erfolgversprechender erscheint. Da die fehlende Motivation der Fachbereiche auch die Sponsoren abschreckt, entscheidet das Change-Team, dass das Überzeugen der anderen Fachbereiche Priorität hat. Die Überlegung ist, dass einer ausführlicheren Fortführung

der SE-Einführung nichts im Weg stehen sollte, sobald aus den Bereichen ein positives Signal bezüglich SE an die Geschäftsleitung geht. Im Rahmen des Ansatzes (f) muss nun zwischen Leuchtturm- und Quick-Win Projekten entschieden werden. Auf Basis der erarbeiteten Zielreifegrade beschließt das Team, dass Quick-Win Projekte zu präferieren sind, allerdings steht in der näheren Zukunft nur ein neues Projekt an. Da die laufenden Projekte bereits weit fortgeschritten sind und zusätzliche Projekte erst in einigen Monaten starten, wird ein Leuchtturmprojekt angestrebt. Im Kontrollgremium wird dies diskutiert und freigegeben. Das Leuchtturmprojekt soll ein in kürze startendes Innovationsprojekt für ein Kleingerät unterstützen. Die Bereichsleiter begrüßen dies, da dieses Projekt wenig personalintensiv ist und das hiermit verbundene Risiko einer Störung des operativen Geschäfts der Fachbereiche gering ist. Zwar ist der geplante Projektleiter noch unerfahren, doch dafür auch offen für neue Ansätze.

Auswahl des Einführungsansatzes

Für die Auswahl des Einführungsansatzes wird zunächst die Bedeutung der sechs Einflussfaktoren (vgl. Kapitel 4.5.3) auf das Projekt eingeschätzt. Ausgangspunkt hierfür ist das Delta der jeweiligen Handlungsfelder in der Reifegradbewertung. Der Faktor Dringlichkeit wird als wichtig eingeschätzt. Laut Leitbild soll SE bereits in 6 Jahren einen positiven Effekt auf den Marktauftritt von ConWhirl haben, wird hiervon die normale Entwicklungszeit von 4 Jahren und die Laufzeit des geplanten Leuchtturmprojekts abgezogen bleibt wenig Zeit für das Ausrollen. Die Reichweite wird mittel priorisiert – zwar soll der Ansatz im gesamten Entwicklungsbereich und dem Marketing eingeführt werden, doch da ein starker Fokus auf der Phase des Projektbeginns liegt und die spätere Ausarbeitung in den Disziplinen nicht betroffen ist, ist die Anzahl der direkt betroffenen Personen noch gut handzuhaben. Die Faktoren Kultur und Denkweise werden jeweils als wichtig eingeschätzt. Die Aufbauorganisation wird als wenig kritisch eingeschätzt. Der Faktor Prozess hat eine mittlere Bedeutung, da hier zwar Änderungen notwendig sind, diese aber nur Teilprozesse betreffen werden. Der Abgleich der Bewertungen mit der Zustimmung zu den Thesen ergibt, dass sich die Ansätze „Releases“ und „Agile Optimierung“ tendenziell besser eignen als „Big Bang“. Das Change-Team konsultiert die Steckbriefe zu beiden Ansätzen und stellt dabei fest, dass die Nachteile „Planungsunsicherheit“ und „Kommunikationsaufwände“ gegen ein agiles Vorgehen sprechen, während die Dringlichkeit eher dafürspricht. Zudem befürchtet das Change-Team Vorbehalte aus allen Bereichen außer der Softwareentwicklung gegenüber einer Agilen Vorgehensweise. Aus diesem Grund entscheidet sich das Team für ein Vorgehen in Releases und setzt eine Releasezeit von einem halben Jahr fest. Die Resultate der letzten Schritte werden schließlich im MPA eingetragen (vgl. Bild 5-5).

Ableiten von Maßnahmen

Ausgehend von der Differenz aus Ist- und Zielreifegrad werden im nächsten Schritt Maßnahmen identifiziert. Aus dem gewählten Motivationsansatz (f) folgt, dass Maßnahmen, deren Mehrwert besonders für die Sponsoren oder für einzelne Bereiche ausgelegt ist,

zurückgestellt werden bis eine Überzeugung für SE in der Breite vorliegt. Aus dem Einführungsansatz ergibt sich der Umfang der Maßnahmen. Dabei sollte jede Maßnahme einen Umfang haben, der im Rahmen des gewählten Release-Zeitraums von einem halben Jahr abgearbeitet werden kann. Das Change-Team erarbeitet zunächst eine Liste an Maßnahmen (vgl. „Maßnahmen“ in Bild 5-5), die diese Einschränkung erfüllen.

Ist-Reifegrad

Ziele Systems Engineering Einführung

Ziel-Reifegrad

Ziel **Beschreibung** **Priorität** **Ziel** **Beschreibung** **Priorität**

1 Disziplinübergreifende Zusammenarbeit verbessern 18,9 % 6 Redundanz reduzieren 7,6 %

2 Kunden besser verstehen 18,9 % 7 Transparenz ermöglichen 7,2 %

3 Risiken reduzieren 13,4 % 8 Änderungen reduzieren 3,5 %

4 Umsätze erhöhen 12,5 % 9 Arbeit orchestrieren 3,5 %

5 Zeit/Iterationen einsparen 11,0 % 10 Äger vermeiden 3,5 %

Maßnahmen

Einführungsansatz

Maßnahmen

Nr.	Maßnahme	Typ	Kurzbeschreibung	Zielzeitpunkt
1	Kick-Off Unternehmenswelt	Kommunizieren	Bekanntgabe der Aktivitäten bei Engineering und Marketing, Bazaar deutlich machen und für Fragen einrichten eines Newsletters (Mail) an Engineering und Marketing, Ziel: Ein Update je Monat.	Sobald
2	Einrichten Newsletter	Kommunizieren	Einrichten eines Projektkontos, in dem das Change Team arbeitet und in welchem Interessierte willkommen sind um sich zu informieren.	Terminierbar
3	Einrichten Projektkonto mit offener Tür	Kommunizieren	Einrichten eines Projektkontos, in dem das Change Team arbeitet und in welchem Interessierte willkommen sind um sich zu informieren.	Terminierbar
4	Schulung-Denkweise erhalten	Erhalten	Externe Durchführungs-Schulung, interdisziplinäre Zusammenfassung der Erkenntnisse für Projektleiter.	Terminierbar
5	Schulung-Denkweise durchführen	Umsetzen	Externe durchgeführte Schulung, interdisziplinäre Zusammenfassung der Erkenntnisse für Projektleiter.	Terminierbar
38	Leuchtturm	Pilotieren	Fokus auf Projektplanung, detaillierte Geschäfts-Missionsanalyse, Stakeholderanforderungen und Anforderungsanalyse im Detail.	Terminierbar
39	Pilotenschritt kommunizieren	Kommunizieren	Kontinuierliche Kommunikation der erreichten Mehrwerte an Führungskräfte und Mitarbeiter.	Durchgängig
40	Schnittstelle Anordnungen für beschließen	Erarbeiten von Inhalten	Software-Schnittstelle zwischen Anordnungsmanagement und Architektur-Modellierungszugriff implementieren.	Terminierbar
41	Beschreibungslinie	Erarbeiten von		

Die Reihenfolge der Maßnahmen ist noch zu definieren

Motivationsansatz

Top Down

Bottom Up

Zielbereich

Breite

Fokus

Ziel-Reifegrad

Einführungsansatz

Ist-Reifegrad

Ziel **Beschreibung** **Priorität** **Ziel** **Beschreibung** **Priorität**

1 Disziplinübergreifende Zusammenarbeit verbessern 18,9 % 6 Redundanz reduzieren 7,6 %

2 Kunden besser verstehen 18,9 % 7 Transparenz ermöglichen 7,2 %

3 Risiken reduzieren 13,4 % 8 Änderungen reduzieren 3,5 %

4 Umsätze erhöhen 12,5 % 9 Arbeit orchestrieren 3,5 %

5 Zeit/Iterationen einsparen 11,0 % 10 Äger vermeiden 3,5 %

Maßnahmen

Einführungsansatz

Maßnahmen

Nr.	Maßnahme	Typ	Kurzbeschreibung	Zielzeitpunkt
1	Kick-Off Unternehmenswelt	Kommunizieren	Bekanntgabe der Aktivitäten bei Engineering und Marketing, Bazaar deutlich machen und für Fragen einrichten eines Newsletters (Mail) an Engineering und Marketing, Ziel: Ein Update je Monat.	Sobald
2	Einrichten Newsletter	Kommunizieren	Einrichten eines Projektkontos, in dem das Change Team arbeitet und in welchem Interessierte willkommen sind um sich zu informieren.	Terminierbar
3	Einrichten Projektkonto mit offener Tür	Kommunizieren	Einrichten eines Projektkontos, in dem das Change Team arbeitet und in welchem Interessierte willkommen sind um sich zu informieren.	Terminierbar
4	Schulung-Denkweise erhalten	Erhalten	Externe Durchführungs-Schulung, interdisziplinäre Zusammenfassung der Erkenntnisse für Projektleiter.	Terminierbar
5	Schulung-Denkweise durchführen	Umsetzen	Externe durchgeführte Schulung, interdisziplinäre Zusammenfassung der Erkenntnisse für Projektleiter.	Terminierbar
38	Leuchtturm	Pilotieren	Fokus auf Projektplanung, detaillierte Geschäfts-Missionsanalyse, Stakeholderanforderungen und Anforderungsanalyse im Detail.	Terminierbar
39	Pilotenschritt kommunizieren	Kommunizieren	Kontinuierliche Kommunikation der erreichten Mehrwerte an Führungskräfte und Mitarbeiter.	Durchgängig
40	Schnittstelle Anordnungen für beschließen	Erarbeiten von Inhalten	Software-Schnittstelle zwischen Anordnungsmanagement und Architektur-Modellierungszugriff implementieren.	Terminierbar
41	Beschreibungslinie	Erarbeiten von		

Die Reihenfolge der Maßnahmen ist noch zu definieren

Motivationsansatz

Top Down

Bottom Up

Zielbereich

Breite

Fokus

Ist-Reifegrad

Ziele Systems Engineering Einführung

Ziel-Reifegrad

Ziel **Beschreibung** **Priorität** **Ziel** **Beschreibung** **Priorität**

1 Disziplinübergreifende Zusammenarbeit verbessern 18,9 % 6 Redundanz reduzieren 7,6 %

2 Kunden besser verstehen 18,9 % 7 Transparenz ermöglichen 7,2 %

3 Risiken reduzieren 13,4 % 8 Änderungen reduzieren 3,5 %

4 Umsätze erhöhen 12,5 % 9 Arbeit orchestrieren 3,5 %

5 Zeit/Iterationen einsparen 11,0 % 10 Äger vermeiden 3,5 %

Maßnahmen

Einführungsansatz

Maßnahmen

Nr.	Maßnahme	Typ	Kurzbeschreibung	Zielzeitpunkt
1	Kick-Off Unternehmenswelt	Kommunizieren	Bekanntgabe der Aktivitäten bei Engineering und Marketing, Bazaar deutlich machen und für Fragen einrichten eines Newsletters (Mail) an Engineering und Marketing, Ziel: Ein Update je Monat.	Sobald
2	Einrichten Newsletter	Kommunizieren	Einrichten eines Projektkontos, in dem das Change Team arbeitet und in welchem Interessierte willkommen sind um sich zu informieren.	Terminierbar
3	Einrichten Projektkonto mit offener Tür	Kommunizieren	Einrichten eines Projektkontos, in dem das Change Team arbeitet und in welchem Interessierte willkommen sind um sich zu informieren.	Terminierbar
4	Schulung-Denkweise erhalten	Erhalten	Externe Durchführungs-Schulung, interdisziplinäre Zusammenfassung der Erkenntnisse für Projektleiter.	Terminierbar
5	Schulung-Denkweise durchführen	Umsetzen	Externe durchgeführte Schulung, interdisziplinäre Zusammenfassung der Erkenntnisse für Projektleiter.	Terminierbar
38	Leuchtturm	Pilotieren	Fokus auf Projektplanung, detaillierte Geschäfts-Missionsanalyse, Stakeholderanforderungen und Anforderungsanalyse im Detail.	Terminierbar
39	Pilotenschritt kommunizieren	Kommunizieren	Kontinuierliche Kommunikation der erreichten Mehrwerte an Führungskräfte und Mitarbeiter.	Durchgängig
40	Schnittstelle Anordnungen für beschließen	Erarbeiten von Inhalten	Software-Schnittstelle zwischen Anordnungsmanagement und Architektur-Modellierungszugriff implementieren.	Terminierbar
41	Beschreibungslinie	Erarbeiten von		

Die Reihenfolge der Maßnahmen ist noch zu definieren

Motivationsansatz

Top Down

Bottom Up

Zielbereich

Breite

Fokus

Bild 5-5: Master Plan of Action ConWhirl

Für jede Maßnahme wird neben einem Namen auch eine Kurzbeschreibung, der Maßnahmentyp und die zeitliche Kritikalität festgelegt. Beispielsweise handelt es sich bei der Maßnahme „Unternehmensweites Kick-Off“ um eine Maßnahme vom Typ „Kommunizieren“, die eine hohe Zeitkritikalität hat. Die Maßnahme „Einrichten Newsletter“ ist hingegen terminierbar und könnte auch zu einem späteren Zeitpunkt gestartet werden.

Trotz des fachlich eher kleinen Umfangs der SE-Einführung werden 44 Maßnahmen identifiziert, die im nächsten Schritt zunächst dokumentiert werden. Die Dokumentation erfolgt wie in Bild 5-6 dargestellt anhand des Maßnahmensteckbriefs.

ID: 002	Datum: 12.08.2019	Stand: V1.0
Name: Einrichten Newsletter	Maßnahmentyp: <input type="checkbox"/> Erarbeiten von Inhalten <input type="checkbox"/> Pilotieren <input type="checkbox"/> Kommunizieren <input checked="" type="checkbox"/> Umsetzen	
Maßnahmenziel: Sichtbarkeit des Einführungsprojekts im Unternehmen sicherstellen und proaktiv kontrolliert Informationen verteilen. Kommunikationsziele: Wissensvermittlung, Legitimation, Hinweis auf Möglichkeiten zur Partizipation und zum Dialog.		
Beschreibung der Maßnahme: Aufsetzen und Betreiben eines Newsletters zur monatlichen Information über den aktuellen Status des Einführungsprojekts, insb. mit Hinweisen auf Erfolge, Veranstaltungen und Ansprechpartner. Eine Strategie zum Umgang mit negativen Ergebnissen ist festzulegen, sie sollten aber aktiv adressiert werden um eine unkontrollierte Verbreitung „per Flurfunk“ zu vermeiden. Ausgangspunkt ist die Auswahl der zu nutzenden Infrastruktur und die Erarbeitung von Vorlagen für den Newsletter. Im Anschluss ist der Newsletter monatlich zum Monatsende fertigzustellen und nach Freigabe im Kontrollgremium zu verteilen.		
Betroffene u. einzubindende Stakeholder: Betroffen: Alle Engineering-, Engineering-IT und Marketing Mitarbeiter, Betriebsrat, GL, Management der restlichen Unternehmensbereiche, Office-IT. Eingebunden: Change-Team, Kontrollgremium, Leiter von Sub-Projekten (Pilotprojekte, etc.).	Notwendige Kompetenzen: Aufsetzen und Pflegen der Infrastruktur, Corporate Identity gerechtes Schreiben, Kommunikation im Change Management.	
Notwendige Vorarbeiten u. Maßnahmen: Projekt Kick-Off abgeschlossen.	Flankierende Maßnahmen: Sämtliche durchzuführenden Maßnahmen deren Ergebnis relevant für die Kommunikation ist.	
Chancen der Maßnahme: Verständnis für die Notwendigkeit der Veränderung erzeugen, Neugier auf SE und Bereitschaft zum Ausprobieren erzeugen, Kontrolle über den Informationsfluss	Dringlichkeit: <input type="checkbox"/> Niedrig <input type="checkbox"/> Mittel <input checked="" type="checkbox"/> Hoch	
Risiken der Maßnahme: Phasen ohne Erfolgsmeldungen fallen verstärkt auf.	Dauer: <input type="checkbox"/> Niedrig <input type="checkbox"/> Mittel <input checked="" type="checkbox"/> Hoch	
Aufwand: 10 PM zum initialen aufsetzen, anschließend 2 PM je Monat für das formulieren und versenden.		
Erfolgskriterium: Der Newsletter wird von 50% der Empfänger gelesen, häufig gestellte Fragen werden per Newsletter beantwortet und anschließend weniger häufig gestellt.		

Bild 5-6: Maßnahmensteckbrief für die Maßnahme „Einrichten Newsletter“

Die im Beispiel dargestellte Maßnahme „Einrichten Newsletter“ behandelt einen Projektbegleitenden Newsletter, der zunächst einzurichten ist und anschließend im Projektverlauf monatlich veröffentlicht werden soll. Ziel der Maßnahme ist es, die notwendige Sichtbarkeit für das Thema im Unternehmen sicherzustellen, Wissen zu vermitteln, den Bedarf für die Veränderung deutlich zu machen und Hinweise auf Möglichkeiten zur Partizipation und zum Dialog zu geben. Entsprechend ergeben sich für die scheinbar einfache

Aufgabe eine große Zahl betroffener oder einzubindender Stakeholder. Neben der weiteren Beschreibung ist ein Erfolgskriterium für jede Maßnahme von besonderer Bedeutung. Für den Newsletter entscheidet sich das Change-Team für den Anteil der tatsächlichen Leser und für den Rückgang an Nachfragen zu einem Thema, sobald dieses im Newsletter erklärt wird. Da der Newsletter die gesamte Projektlaufzeit über verfügbar sein soll, ist die Maßnahme dringlich und hat eine hohe Dauer. Einzige Voraussetzung für den Start der Maßnahme ist, dass das offizielle Kick-Off durchgeführt wurde, flankierend sind jedoch alle anderen Maßnahmen, da diese die Inhalte für die Kommunikation im Rahmen des Newsletters definieren.

Erarbeiten der Umsetzungsroadmap

Im nächsten Schritt gilt es die Maßnahmen zu clustern. Für alle terminierbaren Maßnahmen wird mit der DSM zur Maßnahmenplanung bewertet, wie stark die Abhängigkeiten einzelner Maßnahmen von anderen Maßnahmen sind. Auf dieser Basis wird ein Clusteringalgorithmus verwendet. So werden, wie in Bild 5-7 dargestellt, eng zusammengehörige Maßnahmen gebündelt.

Maßnahmen-Einflussmatrix		Maßnahmen										
		Moderationsmaterialien beschaffen	Wissensbasis gestalten (IT)	Schulung "Denkweise" durchführen	Short List Schulungsanbieter erstellen	Leuchtturm	Kommunikationsreihe - Bedeutung	Einrichten Projektbüro mit offener Tür	Pilotfortschritt kommunizieren	Erarbeite Anreizsystem "Projektplanung"	Besetze Stellen	Wissensbasis gestalten (Inhalt)
Fragestellung: Wie Stark ist die Abhängigkeit von Maßnahme i (Zeile) von Maßnahme j (Spalte)? Bewertungsskala: 0 = keine Abhängigkeit 1 = geringe Abhängigkeit 2 = mittlere Abhängigkeit 3 = hohe Abhängigkeit		42	6	5	11	38	9	3	39	15	14	7
Maßnahmen	42 Moderationsmaterialien beschaffen	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	6 Wissensbasis gestalten (IT)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	5 Schulung "Denkweise" durchführen	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	
	11 Short List Schulungsanbieter erstellen	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	38 Leuchtturm	3	3	0	0	2	1	0	0	0	0	
	9 Kommunikationsreihe - Bedeutung interdisziplinär	0	2	0	0	0	1	0	0	0	0	
	3 Einrichten Projektbüro mit offener Tür	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	39 Pilotfortschritt kommunizieren	0	0	0	3	0	2	0	0	0	0	
	15 Erarbeite Anreizsystem "Projektplanung"	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	
	14 Besetze Stellen	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
7 Wissensbasis gestalten (Inhalt)	0	3	2	0	0	2	0	0	0	0		

Bild 5-7: Maßnahmen Einflussmatrix ConWhirl

Diese Bündel sind der Ausgangspunkt für die genauere Ausgestaltung der Projektphasen. Für die geplanten halbjährigen Releases wird das in Bild 5-7 hervorgehobene Maßnahmencluster gewählt, um schnellstmöglich mit dem Leuchtturmprojekt zu starten. Da im

Cluster keine konkreten inhaltlichen Aufgabenpakete enthalten sind, entscheidet das Kontrollgremium, dass dies als „Vorabphase“ zu werten und mit dem Leuchtturmprojekt als Kern anzusehen ist.

Erst, wenn das Leuchtturmprojekt zufriedenstellende Rückmeldungen bringt, wird der eigentliche Projektmodus mit Releases gestartet. Ziel der ersten Phase ist also, gemäß des Motivationsansatzes die Breite zu überzeugen. Als Inhalt für die zweite Phase werden die Aktivitäten rund um die Geschäfts-/Missionsanalyse und die Definition von Stakeholderanforderungen festgelegt. Die Reihenfolge der Maßnahmen wird in der Umsetzungsroadmap dokumentiert (vgl. Bild 5-8), die Umsetzungsroadmap wird wiederum im MPA eingefügt (ohne Darstellung).

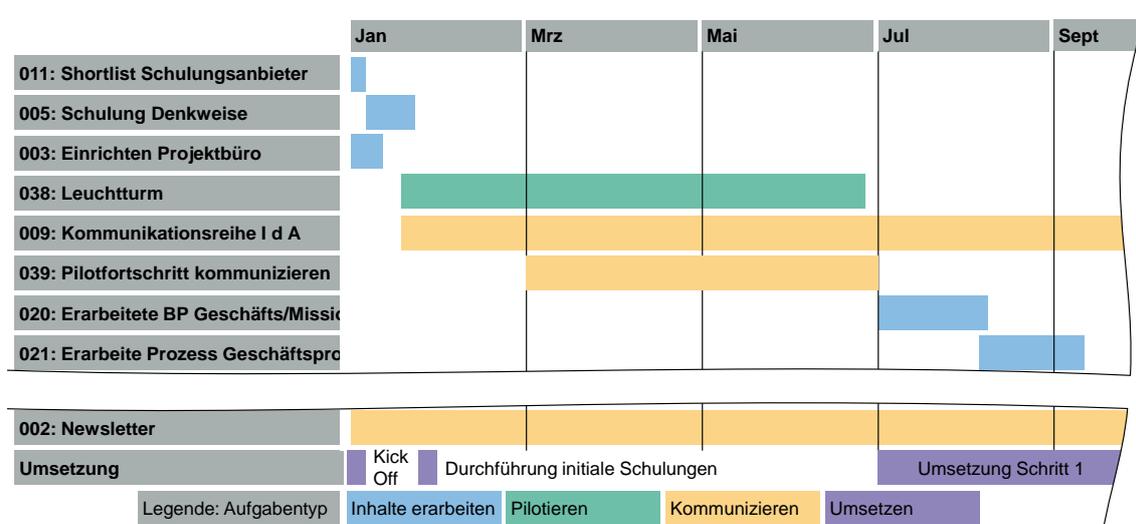


Bild 5-8: Umsetzungsroadmap ConWhirl (Ausschnitt)

Abschließend wird die Checkliste „Planung“ abgearbeitet, um zu prüfen, ob das Einführungsprojekt bereit für den Übergang in die nächste Phase ist (ohne Abbildung).

5.1.3 Phasen 3 und 4: Umsetzung, Rollout und Verstetigung

Zu Beginn der Phase „Roadmap umsetzen“ setzt das Change-Team zunächst geeignete Controllinginstrumente auf. Anschließend werden auf Basis der **Umsetzungsroadmap** die eigentlichen Maßnahmen abgearbeitet. In einem späteren Release wird auch eine neue Organisationsstruktur erarbeitet.

Gestaltung der Organisationsstruktur

Eine Aufgabe im Rahmen der Umsetzung der Umsetzungsroadmap ist die Maßnahme „Einbinden von SE in die Organisationsstruktur“. Zur Umsetzung dieser Maßnahme nutzen die Verantwortlichen den Organisationsstrukturbakasten.

Organisationsaufgaben identifizieren

Im ersten Schritt identifiziert das Change-Team die neuen **Aufgaben** der Organisation. Exemplarische neue Aufgaben sind die Architekturgestaltung im Rahmen der SE-Anwendung, die Bereitstellung von IT-Tools im Rahmen des SE-Supports und das perspektivische Ausbauen von IT-Schnittstellen im Rahmen der SE-Weiterentwicklung. Alle Tätigkeiten werden direkt in der in Bild 5-9 dargestellten Liste gesammelt. Vor dem Übergang in die nächste Phase prüft das Change-Team zudem die Freiheitsgrade zur Umgestaltung der Aufbauorganisation. Dabei signalisiert die Geschäftsführung deutlich, dass eine grundsätzliche Neugestaltung der Aufbauorganisation nicht gewünscht ist. Dementsprechend wird die optionale Phase „Grundstruktur definieren“ übersprungen.

Organisationsaufgaben verorten

Gemäß dem Organisationsstrukturbaukasten wird im zweiten Schritt für jede identifizierte Aufgabe geprüft, ob diese relevant ist, wie Verortung und Integration umgesetzt werden sollen und welche Rolle die Verantwortung für die neue Aufgabe übernehmen soll. Zur Unterstützung und Dokumentation wird die in Bild 5-9 dargestellte Tabelle verwendet. Die Erarbeitung erfolgt mit den betroffenen Verantwortlichen in enger Abstimmung mit dem Steuerkreis, die Freigabe wird durch die Sponsoren sichergestellt. Als Orientierungshilfe nutzt das Change-Team dabei den Archetyp III „Anwendung mit zentralen Vorgaben und Support“. Dabei werden Aufgaben in den Funktionen Support und Weiterentwicklung zentral verortet, die Aufgaben im Rahmen der SE-Anwendung werden im Wesentlichen dezentral verortet. Für ConWhirl weicht das Team im Detail jedoch vom Archetyp ab. Abweichungen ergeben sich beispielsweise für das Risikomanagement und die Geschäftsanalyse, deren Anwendung zentral verortet wird. IT-bezogene Aufgaben, Qualitäts- und Anforderungsmanagement werden in bestehenden Organisationen verortet. Neu gegründet wird hingegen eine SE-Support-Einheit.

Funktion	Aufgabe	Relevant	Verortung		Integration		Ausgefüllt durch Rolle	Grund für n. relevant
		j/n	Dezentral	Zentral	bestehende Organisation	neue Organisation		
Anwendung	Geschäftsanalyse	J		✓		SE-Supporter	SE-Methodenexperte	
	Risiko-Management	J		✓	Qualitätsmanagement		Qualitätsmanager	
	Anforderungsanalyse	J	✓		Project Offices		Architekt	
	Architekturgestaltung	J	✓				Architekt	
Support	Schulungen durchführen	N						Externe Durchführung
	IT-Tools bereitstellen	J		✓	Engineering-IT		Engineering-IT-Architekt	
	Methoden-Support Anforderungsmanagement leisten	J		✓		SE-Supporter	SE-Methodenexperte	
Weiterentwicklung	IT Schnittstellen ausbauen	J		✓	Engineering-IT		Engineering-IT-Architekt	

Bild 5-9: Planung der SE-Aufbauorganisation für ConWhirl

Diese SE-Einheit soll in Zukunft bei der Geschäftsanalyse „As a Service“ die jeweiligen Produktmanager unterstützen und zusätzlich Support bei Rückfragen für die sonstigen Anwendungen leisten. Die Aufgaben werden zum Teil bestehenden Rollen zugeordnet, neue Rollen orientieren sich am Rollenkonzept des Organisationsstrukturbaustens.

Die **Dokumentation der Aufbauorganisation** erfolgt im internen Organigramm. Abschließend wird die Checkliste „Roadmap umsetzen“ abgearbeitet, um zu prüfen, ob das Einführungsprojekt bereit für den Übergang in die nächste Phase ist (ohne Abbildung).

Rollout und Verstetigung

Für Rollout und Verstetigung liefert das Rahmenwerk keine im Anwendungsbeispiel anwendbaren Hilfsmittel außer der Checkliste „Umsetzen und Verstetigen“. Diese wird vor Projektabschluss wie in jeder Phase genutzt.

5.2 Bewertung anhand der Anforderungen an die Arbeit

Gegenstand dieses Kapitels ist die Bewertung des Rahmenwerks anhand der in Kapitel 2.6 vorgestellten Anforderungen. Zu diesem Zweck wird für jede Anforderung dargestellt, inwiefern diese durch das Rahmenwerk oder seine Bestandteile erfüllt wird. Einen Überblick über die Zuordnung von Anforderungen und Rahmenwerk zeigt Bild 5-10.

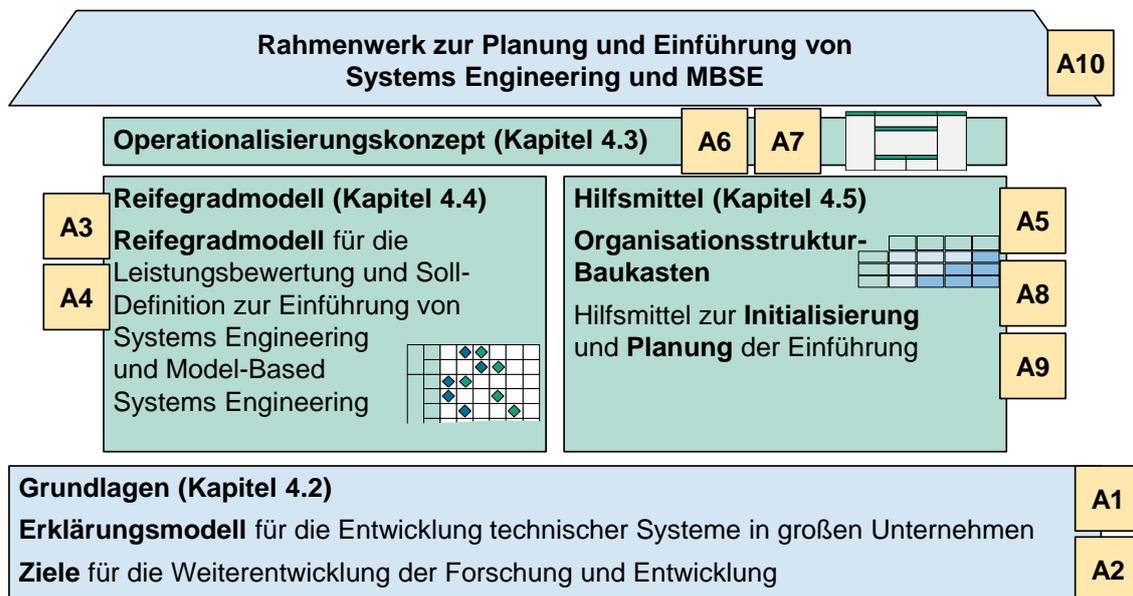


Bild 5-10: Zuordnung der Anforderungen an die Bestandteile des Rahmenwerks

A1) Verständliche Beschreibung des Betrachtungsgegenstands: Das entwickelte *Erklärungsmodell für die Entwicklung technischer Systeme* (vgl. Kapitel 4.2.1) stellt allgemeingültig die wesentlichen Bausteine des Betrachtungsgegenstandes Produktentwicklung dar. Es bildet sowohl Aspekte als auch deren Beziehungen untereinander ab und ist

dabei im Vergleich zu den zugrundeliegenden Modellen leicht verständlich. Es ermöglicht somit eine anschauliche und auch für unerfahrenen Anwendern handhabbare Übersicht über alle zu beachtenden Aspekte.

A2) Zielsetzungen für Systems Engineering und MBSE beschreiben: Die entwickelte *Zielpyramide* (vgl. Kapitel 4.2.2) bietet eine strukturierte und ganzheitliche Übersicht über mögliche Ziele für die SE-Einführung. Sie schafft damit einen einheitlichen Ausgangspunkt für die Festlegung der eigenen Ziele und garantiert einen geeigneten Abstraktionsgrad der gewählten Ziele.

A3) Ganzheitliche Betrachtung von SE und MBSE: Das *Reifegradmodell zur Einführung von SE und MBSE* (vgl. Kapitel 4.3) betrachtet Systems Engineering, Model-Based Systems Engineering und die Zusammenhänge zwischen beiden Ansätzen. Hierzu stellt es Handlungsfelder und Reifegrade zu beiden Themenbereichen bereit und liefert für die Auswahl von Zielreifegraden eine Logik, die sicherstellt, dass SE- und MBSE-Ansätze zusammenpassen. Die gemeinsamen Grundlagen, aber auch die MBSE-spezifischen Themen der Werkzeugintegration, werden in jeweils eigenen Gestaltungsfeldern betrachtet.

A4) Transparenz und Nachvollziehbarkeit sicherstellen: Die Tätigkeiten zur Anwendung des *Reifegradmodells zur Leistungsbewertung* (vgl. Kapitel 4.4.3) und zur *Definition der Zielreifegrade* (vgl. Kapitel 4.4.4) werden durch Hilfsmittel und Berechnungsvorschriften unterstützt. Diese stellen sicher, dass bei gleichen Eingaben auch gleiche Ergebnisse erzielt werden. Zudem ermöglichen sie die intersubjektive Überprüfung aller Schritte und Ergebnisse.

A5) Einführungsmöglichkeiten berücksichtigen: Die Hilfsmittel *Motivationsansatz* (vgl. Kapitel 4.5.3.1) und *Einführungsansatz* (vgl. Kapitel 4.5.3.2) berücksichtigen unterschiedliche Bedingungen bei der Einführung von SE. Sie bieten jeweils ein Vorgehen und detaillierte begleitende Informationen, die den Anwender bei der Auswahl der für seinen Anwendungsfall geeignetsten Ansätze unterstützen.

A6) Change Management integrieren: Das *Operationalisierungskonzept* (vgl. Kapitel 4.3) basiert in seiner Struktur auf etablierten Ansätzen des Change Managements. Die zugehörigen Hilfsmittel zur *Gestaltung der Change-Organisation* (vgl. Kapitel 4.5.1) sowie die *Change-Checklisten* (vgl. Kapitel 4.5.2) stellen zudem die notwendigen Kompetenzen im Team sowie die integrierte Betrachtung von fachlicher Arbeit und CM sicher.

A7) Strukturiertes Vorgehen bereitstellen: Das *Operationalisierungskonzept* (vgl. Kapitel 4.3) ermöglicht eine systematische Vorgehensweise bei der Einführung von SE. Es bringt die einzusetzenden Hilfsmittel in eine Reihenfolge und beschreibt die Aufgaben und Resultate der vier aufeinanderfolgenden Phasen. Durch die Integration des *Reifegradmodells* ermöglicht es die systematische Erarbeitung des aktuellen Leistungsstands sowie der Ziel-Situation. Das *Vorgehen zur Maßnahmenableitung* (vgl. Kapitel 4.5.3.3) ermöglicht die Planung der Leistungssteigerung. Die Darstellung des Status anhand des *Master Plan of Action* (vgl. Kapitel 4.5.1) schafft zusätzliche Transparenz.

A8) Organisationsstruktur gestalten: Der *Organisationsstrukturbakasten* (vgl. Kapitel 4.5.4.4) ermöglicht die Planung der Gestaltung einer SE-gerechten Aufbauorganisation. Hierzu steuert er neben einem ganzheitlichen Vorschlag für wichtige Rollen auch einen Baukasten zur Gestaltung der Aufbauorganisation bei. Die *Archetypen* (vgl. Kapitel 4.5.4.3) für die Organisationsstruktur bieten eine schnelle Übersicht über grundlegende Gestaltungsmöglichkeiten.

A9) Berücksichtigung von Großunternehmen: Das *Operationalisierungskonzept* und die damit verbundenen Hilfsmittel sind hinsichtlich der Besonderheiten von Großunternehmen ausgelegt. Das *Reifegradmodell* ist im Bereich der Prozesse kompatibel mit anderen, in Großunternehmen verwendeten Modellen. Die *Change-Checklisten* und *Change-Organisation* liefern Hinweise auf relevante Stakeholder und der *Master Plan of Action*, die *Umsetzungsroadmap* und das *Vorgehen zur Maßnahmenableitung* vereinfachen das Management der erwartungsgemäß großen Projekte.

A10) Methoden- und Werkzeugunabhängigkeit sicherstellen: Das gesamte Rahmenwerk ist unabhängig von spezifischen SE oder MBSE-Methoden, -Ansätzen und -Werkzeugen. Das zugrundeliegende *Erklärungsmodell* ist ein geeigneter Ausgangspunkt zur Unterstützung der Planung von Werkzeugketten. *Operationalisierungskonzept* und *MPA* sind geeignet, auch dedizierte Ansätze zur Gestaltung von Methodenleitfäden und Werkzeugketten einzubinden.

6 Zusammenfassung und Ausblick

Moderne technische Systeme wie ITS zeichnen sich durch ihre Komplexität und Interdisziplinarität aus. Dies erhöht die Komplexität der Entwicklung solcher Systeme. Disziplinspezifische Entwicklungsansätze reichen nicht aus, um diese Komplexität handhaben zu können. In den für Deutschland wichtigen Branchen Automobilbau, Maschinen- und Anlagenbau und Elektrogeräte besteht daher Bedarf für die Einführung ganzheitlicher Entwicklungsansätze. Systems Engineering und Model-Based Systems Engineering adressieren diese Herausforderung. SE zielt auf die interdisziplinäre und ganzheitliche Systementwicklung mit Blick auf den gesamten Produktlebenszyklus ab. MBSE unterstützt die Ansätze des SE durch die Anwendung von Modellen. Aus der Anwendung von SE und MBSE erwarten sich die Unternehmen der betrachteten Branchen hohe Mehrwerte. Allerdings stellt die Einführung dieser Ansätze eine große **Herausforderung** für Unternehmen dar. Diese ergeben sich insbesondere aus der Komplexität des Themenfelds, unzureichenden Methoden zur Einführung, spezifischen Nachteile großer Unternehmen und dem notwendigen Change Management.

Zur Einführung von SE und MBSE müssen die Besonderheiten des SE, von Großunternehmen und auch das notwendige Change Management integrativ betrachtet werden. Ein Einführungsansatz muss Unternehmen die Möglichkeit bieten, in dem komplexen Themenfeld schnell die wesentlichen Aspekte zu erkennen. Zudem muss der Ansatz die konkreten Ziele des einführenden Unternehmens berücksichtigen und dabei zu reproduzierbaren Ergebnissen führen. Dementsprechend muss es möglich sein, SE und MBSE auch individuell zu betrachten. Die Einführung muss geeignet strukturiert werden und dem Anwender geeignete Einführungsansätze anbieten, ohne dabei abhängig von spezifischen Werkzeugen oder Methoden zu sein. Wenngleich viele Vorarbeiten zu einzelnen Aspekten des SE existieren, fehlen bislang Ansätze zur Gestaltung von Aufbauorganisationen, welche den Ansprüchen des SE und MBSE gerecht werden. Ein entsprechendes Hilfsmittel muss daher bereitgestellt werden.

Im Rahmen dieser Arbeit wurde zunächst der **Stand der Technik** für Erklärungs- und Reifegradmodelle untersucht, welche jedoch nur Teilaspekte des SE abbilden. Insbesondere Prozesse werden dabei sehr gut abgebildet, organisatorische oder kulturelle Aspekte werden hingegen wenig betrachtet. Anschließend wurden Ansätze zur Einführung von Veränderungen im Allgemeinen bzw. Systems Engineering im Speziellen untersucht. Die Ansätze des Change Management sind aufgrund ihrer Top-Down Ausrichtung zu großen Teilen wenig geeignet zur Einführung von SE und MBSE. Explizite SE- bzw. MBSE-Einführungsansätze adressieren zum Teil ein kombiniertes Top-Down und Bottom-Up Vorgehen, betrachten aber jeweils nur Teile der gesamten Einführung. Zudem wurde das Fehlen eines geeigneten Ansatzes zur Gestaltung von SE-gerechten Organisationsstrukturen aufgezeigt. Daraus wurde der Handlungsbedarf für ein *Rahmenwerk zur Einführung von Systems Engineering und Model-Based Systems Engineering* abgeleitet.

Das **Rahmenwerk umfasst** im Kern folgende Inhalte:

- **Erklärungs- und Zielmodell:** Das Erklärungsmodell beschreibt auf Basis des ZOPH-Modells die zur SE-Einführung relevanten Aspekte der Produktentwicklung und bezieht dabei neben den relevanten Prozessen insbesondere die Organisation mit ein. Es bildet damit den Ausgangspunkt für das Reifegradmodell. Das Zielmodell bietet eine Übersicht über Ziele, welche durch eine SE-Einführung unterstützt werden können.
- **Operationalisierungskonzept:** Das Operationalisierungskonzept bietet ein systematisches Vorgehen zur Einführung von SE und bindet Ziel- und Reifegradmodell sowie weitere Hilfsmittel in einen Gesamtkontext ein. Es unterstützt die Tätigkeiten der SE-Einführung von dem Aufsetzen eines SE-Einführungsprojekts über die Leistungssteigerung bis zum Rollout von SE bzw. MBSE.
- **Reifegradmodell:** Das Reifegradmodell zur SE-Einführung definiert die Eigenschaften einer Organisation für verschiedene SE-Leistungsstufen und stellt ein Vorgehen zur Bewertung der Ist-Situation sowie zur Identifikation der Zielreife grade bereit. Es bezieht dabei neben den Prozessen auch organisatorische Aspekte, Infrastruktur und weitere Themen wie Denkweisen und Kultur mit ein. Die Ziel-Reife grade werden mit Blick auf konkrete Unternehmensbedarfe definiert und müssen nicht den höchstmöglichen Reifegraden entsprechen.
- **Hilfsmittel:** Verschiedene Hilfsmittel unterstützen bei der Anwendung des Operationalisierungskonzepts. Hervorzuheben sind zum einen die Hilfsmittel zur Planung der Einführung. Diese unterstützen dabei, auf Basis des Reifegradmodells geeignete Motivations- und Einführungsansätze auszuwählen und schließlich konkrete Maßnahmen abzuleiten. Zum anderen hervorzuheben sind die Hilfsmittel zur Gestaltung einer SE-gerechten Organisationsstruktur.

Die **Anwendung des Rahmenwerks** erfolgte anhand des imaginären Unternehmens ConWhirl. Im Rahmen dieser Anwendung wurde das Operationalisierungskonzept vollständig durchlaufen. Dabei wurden Ziel- und Reifegradmodell sowie die weiteren Hilfsmittel exemplarisch angewendet. Die Anwendung zeigt, dass das entwickelte *Rahmenwerk zur Einführung von Systems Engineering und Model-Based Systems Engineering* die gestellten Anforderungen in vollem Umfang erfüllt.

Im Hinblick auf die Einführung von Systems Engineering und Model-Based Systems Engineering besteht **weiterer Forschungsbedarf**. Zentral für die Ausrichtung eines Einführungsprojekts sowie die spätere Weiterentwicklung etablierter Ansätze sind die SE-Strategie und Vision. Deren Gestaltung, auch im Wechselspiel mit bestehenden Unternehmens- oder Entwicklungsvisionen, bedarf zusätzlicher Unterstützung.

Während Methoden und Werkzeuge bereits in anwendbarer Form vorliegen, stellt für beide Themen die Vernetzung mit anderen Methoden bzw. Werkzeugen noch eine Herausforderung dar. Es fehlen Methodenkataloge, die die Abhängigkeiten zwischen unterschiedlichen Methoden und Artefakten betrachten und so eine bedarfsbasierte Auswahl relevanter Methoden ermöglichen. Die Gestaltung einer SE-geeigneten IT-Infrastruktur stellt ebenfalls eine große Herausforderung dar und muss durch weitere Forschungsarbeit unterstützt werden. Das in der vorliegenden Arbeit vorgestellte Rollenkonzept muss zudem durch weitere wissenschaftliche Arbeit verfeinert werden. Eigene Hilfsmittel zur Erstellung und Einbindung der SE-Rollen sind wünschenswert.

Voraussetzung für das Erreichen des höchsten Reifegrades für Prozesse im Bereich des MBSE ist die Nutzung von MBSE-Assistenzsystemen für den jeweiligen Prozess. Während Machine Learning und Künstliche Intelligenz in anderen Unternehmensbereichen bereits Anwendung findet, fehlen bislang entsprechende Ansätze zur Vereinfachung und Optimierung des MBSE. Zwar werden hier Mehrwerte für die Produktentwicklung erwartet, konkrete Ansätze zur Umsetzung gibt es jedoch wenige. Eine ausführliche Potentialanalyse für Künstliche Intelligenz und Machine Learning im Kontext des Systems Engineering ist notwendig.

Abkürzungsverzeichnis

AHP	Analytic Hierarchy Process
CAM	Computer Aided Manufacturing
CM	Change Management
CMM	Capability Maturity Models
CMMI	Capability Maturity Model Integration
CPS	Cyber-Physische Systeme
ERP	Enterprise Resource Planning
IEM	Fraunhofer Institut für Entwurfstechnik Mechatronik
INCOSE	International Council on Systems Engineering
ITS	Intelligente Technische Systeme
It's OWL	Spitzencluster Intelligente Technische Systeme OstWestfalenLippe
KMU	Kleine und mittelständische Unternehmen
KVP	Kontinuierlicher Verbesserungsprozess
MBSE	Model-Based Systems Engineering
SE	Systems Engineering
MPA	Master Plan of Action
OPD	Object Process Diagram
OPL	Object Process Language
PDM	Product Data Management
PP	Pain Point
PPS	Produktionsplanungs- und Steuerungssysteme
RGM	Reifegradmodell
SE	Systems Engineering
SEBoK	Systems Engineering Body of Knowledge
SPEM	Software & Systems Process Engineering Meta-Model Specification
SysML	Systems Modeling Language
z. B.	zum Beispiel

Literaturverzeichnis

- [ABR16] ALBERS, A.; BURSAC, N.; RAPP, S.: PGE – Produktgenerationsentwicklung am Beispiel des Zweimassenschwungrads. In: *Forschung im Ingenieurwesen*, Band 81, Nr. 1., Springer-Verlag, Berlin, S. 13-31, 2016
- [ABW15] ALBERS, A., BURSAC, N. UND WINTERGERST, E.: Product generation development–importance and challenges from a design research perspective. In: *New Developments in Mechanics and Mechanical Engineering: proceedings of the International Conference on Mechanical Engineering*, 2015, pp. 16-21.
- [ABQ+11] ALEGRIA, J. A. H.; BASTARRICA, M. C.; QUIPE, A.; OCHOA, S. F.: An MDE Approach to Software Process Tailoring. In: *ICSSP11 Proceedings of the 2011 International Conference on Systems Process*, 2011, pp. 43-52
- [Abu12] ABULAWI, J.: Ansatz zur Beherrschung der Komplexität von vernetzten 3D-CAD-Modellen. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Helmut Schmidt Universität – Universität der Bundeswehr, Hamburg, 2012
- [Aca09] Acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften: *Intelligente Objekte - klein, vernetzt, sensitiv – Eine neue Technologie verändert die Gesellschaft und fordert zur Gestaltung heraus*. Springer, Berlin, Heidelberg, 2009
- [Aca11] Acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften (Hrsg.): *Cyber-Physical Systems – Innovationsmotor für Mobilität, Gesundheit, Energie und Produktion (acatech POSITION)*. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 2011
- [ACS18] ALMQUIST, E.; CLEGHORN, J.; SHERER, L.: The B2B Elements of Value. In: *Harvard Business Reviws*, March-April 2018.
- [AHM+12] APPELBAUM, S. H.; HABASHY, S.; MALO, J.-L.; SHAFIQ, H.: Back to the future: revisiting Kotter’s 1996 change model. In: *Journal of Management Development*. Vol. 31 No. 8, 2012, S. 764-782
- [ALR12] ALBERS, A.; LOHMEYER, Q.; RADIMERSKY, A.: Individuelle und organisatorische Akzeptanz von Methoden des Systems Engineerings. In: MAURER, M.; SCHULZE, S.-O. (Hrsg.): *Tag des Systems Engineering*, Carl Hanser Verlag, München, 2012
- [Alt12] ALT, O.: *Modellbasierte Systementwicklung mit SysML – In der Praxis*. Carl Hanser Verlag, München, 2012
- [ARS+19] ALBERS, A.; RAPP, S.; SPADINGER, M.; RICHTER, T.; BIRK, C.; MARTHALER, M.; HEIMICKE, J.; KURTZ, V.; WESSELS, H.: Das Referenzsystem im Modell der PGE – Produktgenerationsentwicklung: Vorschlag einer generalisierten Beschreibung von Referenzprodukten und ihrer Wechselbeziehungen. KIT, 2019
- [ASH04] AMIS, J.; SLACK, T.; HININGS, C. R.: The Pace, Sequence, and Linearity of Radical Change, in: *AMJ*, 47. Jg., Nr 1, 2004, PP. 15-39
- [ASS19] Al Kindi, M; Summad, E.; Shamsuzzoha, A.: On the Product Development Times in various Market Properties. In: *8th International Conference on Modeling Simulation and Applied Optimization (ICMSAO)*, Manama, Bahrain, 15-17 April 2019
- [AWA08] ARONSON, E.; WILSON, T. D.; AKERT, R. M.: *Sozialpsychologie*. Pearson Studium, 6. Auflage 2018
- [Bal04] BALÁZOVÁ, M.: Methode zur Leistungsbewertung und Leistungssteigerung der Mechatronikentwicklung. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 174, Paderborn

- [Ban07] BANDTE, H.: Komplexität in Organisationen – Organisationstheoretische Betrachtung und agentenbasierte Simulation. Deutscher Universitäts-Verlag, Wiesbaden, 2007
- [Ber32] BERTALANFFY, L. V.: Theoretische Biologie. Borntraeger Verlag, Berlin, 1932
- [BFN05] BROWNING, R. T.; FRICKE, E.; NEGELE, H.: Key Concepts in Modeling Product Development Processes. Systems engineering, Journal of the International Council on Systems Engineering, Issue 9, 2006, pp. 104-128
- [BF17] BIERWOLF, R.; FRIJNS, P.: Managing Change With a Smile. In: IEEE Engineering Management Review, Vol. 45, No. 4, Fourth Quarter, December 2017
- [BGM+01-ol] BECK, K; GRENNING, J.; MARTIN, R. C.; BEEDLE, M.; HIGHSMITH, J.; MELLOR, S.; BENNEKUM, A.; HUNT, A.; SCHWABER, K.; COCKBURN, A.; JEFFRIES, R.; SUTHERLAND, J.; CUNNINGHAM, W.; KERN, J.; THOMAS, D.; FOWLER, M.; MARICK, B.: Manifest für die Agile Softwareentwicklung – Werte. Unter: <http://agilemanifesto.org/iso/de/>
- [BHL07-ol] BRAUN, S.; HELLENBRAND, D.; LINDEMANN, U.: Kostentransparenz in der Mechatronik – Eine Studie über Komplexitäts- und Kostentreiber mechatronischer Produkte, unter: <http://www.shaker.de/de/content/catalogue/index.asp?lang=&ID=8&ISBN=OND-00000-0000004>
- [BK13] BROY, M.; KUHRMANN, M.: Projektorganisation und Management im Software Engineering. Springer Verlag, Berlin Heidelberg, 2013
- [BLH+11] BROCK, B.; LOUGHNAN, S.; HASLAM, N; RADKE, H. R. M.: Don't Mind Meat? The Denial of Mind to Animals Used for Human Consumption. In: Personality and Social Psychology Bulletin, 2011
- [BP11] BEASLEY, R.; PARTRIDGE, R.: The Three Ts of Systems Engineering - Trading, Tailoring and Thinking. In: Incose International Symposium, Volume 21, Issue 1, 2014, pp. 1356-1372
- [Bra05] BRAUN, T.: Methodische Unterstützung der strategischen Produktplanung in einem mittelständisch geprägten Umfeld. München: Dr. Hut 2005. (Produktentwicklung München, Band 60) Zugl. München: TU, Dissertation 2005
- [BS06] BULLINGER, H.-J.; SCHEER, A.-W.: Service Engineering - Entwicklung und Gestaltung innovativer Dienstleistungen. Springer Verlag, Heidelber, 2006
- [BSD+12] BAJAJ, M.; SCOTT, A.; DEMING, D.; WICKSTROM, G.; SPAIN, M. D.; ZWEMER, D.; PEAK, R.: Maestro - A model-based systems engineering environment for complex electronic systems. INCOSE International Symposium, Rom, 1/2012, S. 1999–2015
- [BSJ+09] BOARDMAN, J.; SAUSER, B.; JOHN, L.; EDSON, R.: The Conceptagon – A Framework for Systems Thinking and Systems Practice. In: Proceedings of the 2009 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics, San Antonio, 2009, S.3299-3304.
- [BSM12] BJORKMAN, E. A.; SARKANI, S.; MAZZUCHI, T. A.: Using Model-Based Systems Engineering as a Framework for Improving Test and Evaluation Activities. In: Systems Engineering, Wiley Online Library, 2012
- [BSS15] BAUMS, A.; SCHÖSSLER, M.; SCOTT, B.: Kompendium Industrie 4.0 – Wie digitale Plattformen die Wirtschaft verändern – und wie die Politik gestalten kann. Digitale Standortpolitik, band II, Berlin, 2015
- [Bud00] BUEDE, D. M.: The engineering design of systems - models and methods. Wiley, 2000
- [Bur11] BURNES, B.: Introduction - Why does change fail, and what can we do about it? In: Journal of Change Management, 11:4, 2011, pp. 445-450
- [BV97] BADEN-FULLER, C.; VOLBERDA, H. W.: Strategic Renewal - How Large Complex Organizations Prepare for the Future. In: Int. Studies of Mgt. & Org., Vol. 27, No. 2, Summer 1997, pp. 95-120, 1997

- [BVB15] BONNEMA, G. M.; VEENVLIET, K. T.; BROENINK, J. F.: System Design and Engineering - Facilitating Multidisciplinary Development Projects. CRC Press, Boca Raton, 2015
- [CB18] CHAMI, M.; BRUEL, J.-M.: A Survey on MBSE Adoption Challenges. In: INCOSE EMEA Sector Systems Engineering Conference (INCOSE EMEASEC 2018), 5. November 2018-7. November 2018, Berlin, Germany, 2018
- [CFS18] CASTILLO, C.; FERNANDEZ, V.; SALLAN J.M.: The six emotional stages of organizational change. In: Journal of Organizational Change Management. 2018 [Cha74]CHASE, W. P.: Management of Systems Engineering. John Wiley & Sons, New York, 1974
- [Chr09] CHRISTIANSEN, S.-K.: Methode zur Klassifikation und Entwicklung reifegradbasierter leistungsbewertungs- und Leistungssteigerungsmodelle. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, Verlagsschriftenreihe des Heinz Nixdorf Instituts, Paderborn, Band 264, Heinz Nixdorf Institut, 2009
- [CLL+13] CORALLO, A.; LATINO, M. E.; LAZOI, M.; LETTERA, S.; MARRA, M.; VERARDI, S.: Defining Product Lifecycle Management - A Journey across Features, Definitions, and Concepts. In: ISRN Industrial Engineering, Volume 2013, Hindawi Publishing, 2013
- [Clo09] CLOUTIER, R.: Introduction to this Special Edition on Model-based Systems Engineering. In: INCOSE-INSIGHT, Vol. 12, Issue 4, 2009
- [Clo13] CLOUTIER, R.: Why is MBSE so Hard? – Perspectives on moving to an MBSA/MBSE Environment, 2013
- [Coh10] COHN, M.: User Stories für die agile Software-Entwicklung mit Scrum, XP u.a. mipt Verlag, Heidelberg, 2010
- [Con06] CONNER, D. R.: Managing at the speed of change – how resilient managers succeed and prosper where others fail. Random House, New York, 2006
- [Dav92] DAVENPORT, T. H.: Process Innovation - Reengineering Work through Information Technology. Harvard Business School Press, 1992
- [DBB97] DEAN, F. F.; BENTZ, B.; BAHILL, A. T.: A Road Map for Implementing Systems Engineering, 1997
- [DD17] DARRIN, M. A. G.; DEVEREUX, W. S.: The Agile Manifesto, design thinking and systems engineering.
- [Dil78] DILLING, H.-J.: Methodisches Rationalisieren von Fertigungsprozessen am Beispiel montagerechter Produktgestaltung. Dissertation, TU Darmstadt, 1978
- [DIL+18] DROSSEL, W.-G.; IHLENFELDT, S.; LANGER, T.; DUMITRESCU, R.: Cyber-Physische Systeme. In: NEUGEBAUER, R. (Hg.): Digitalisierung: Schlüsseltechnologien für Wirtschaft und Gesellschaft, 2018, Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg
- [DL14] DOPPLER, K.; LAUTERBURG, C.: Change-Management: Den Unternehmenswandel gestalten. 13., aktualisierte und erweiterte Auflage. Campus-Verlag, Frankfurt am Main, 2014
- [DS93] DUNPHY, D. C.; STACE, D.: The Strategic Management of Corporate Change, in: HR, 46. Jg, Nr. 8, 1993, PP. 905-920
- [Dum11] DUMITRESCU, R.: Eine Entwicklungssystematik zur Integration kognitiver Funktionen in fortgeschrittene mechatronische Systeme. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 286, Paderborn, 2011
- [DYY+13] DUNFORD, C. N.; YEARWORTH, M.; YORK, D. M.; GODFREY, P.: A view of Systems Practice: Enabling quality in design. Systems Engineering, 2/2013, S. 134-151
- [EB08] ENGEL, A.; BROWNING, T.R.: Designing systems for adaptability by means of architecture options. Systems Engineering, 11(2), 2008, pp. 125-146

- [Ebe13-ol] EBERT-STEINHÜBEL, A.: Kommunikation im Change-Prozess. 2013. Abgerufen am 3.8.2019 unter: https://www.ifc-ebert.de/wp-content/uploads/2017/12/Kommunikation_im_Change-Prozess.pdf
- [EG13] ELM, J. P.; GOLDENSON, D., R.: Quantifying the Effectiveness of Systems Engineering. In: 2013 IEEE International Systems Conference (SysCon), Orlando, Florida, 2013
- [ERZ14] EIGNER, M.; ROUBANOV, D.; ZAFIROV, R.: Modellbasierte virtuelle Produktentwicklung. Springer-Verlag, Berlin, 2014
- [ES05] EVERSHEIM, W.; SCHUH, G.: Integrierte Produkt- und Prozessgestaltung. Springer, Berlin, 2005
- [Est08] ESTEFAN, J. A.: Survey of Model-Based Systems Engineering (MBSE) Methodologies. In: INCOSE MBSE Initiative, California, 2008
- [Faa08] Federal Aviation Administration: Joint Aircraft System/Component Code Table and Definition. 2008
- [Fes18] Friedrich Ebert Stiftung: The future of German automotive industry. Bonn, 2018
- [Fes57] FESTINGER, L.: A Theory of Cognitive Dissonance. Stanford, California, Stanford University Press, 1957
- [Fle01] FLETCHER, C.: Performance appraisal and management. In: Journal of Occupational and Organizational Psychology, Vol. 74, No. 4, 2001
- [FMS11] FRIEDENTHAL, S.; MOORE, A.; STEINER, R.: A Practical Guide to SysML – The Systems Modeling Language. 2nd. Ed., Morgan Kaufmann Publishers, Waltham, 2011
- [FMS14] FRIEDENTHAL, S.; MOORE, A.; STEINER, R.: A Practical Guide to SysML – The Systems Modeling Language. Third Edition, Morgan Kaufmann Publishers, Waltham, 2014
- [Gaa10] GAASBEEK VAN, J. R.: Model-Based Systems Engineering (MBSE). INCOSE LA Mini Conference, Loyola Marymoint University, 2010
- [GAC+13] GAUSEMEIER, J.; ANACKER, H.; CZAJA, A.; WASSMANN, H.; DUMITRESCU, R.: Auf dem Weg zu intelligenten technischen Systemen. In: GAUSEMEIER, J.; DUMITRESCU, R.; RAMMIG, F.-J.; SCHÄFER, W.; TRÄCHTLER, A. (Hrsg.): 9. Paderborner Workshop Entwurf mechatronischer Systeme, 18.-19. April., HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 310, Paderborn, 2013
- [Gai04] GAITANIDES, M.: Prozessorganisation. In: Schreyögg, G.; Werder, A. (Hrsg.): Handwörterbuch Unternehmensführung und Organisation. 4. Auflage, Schäffer-Poeschel-Verlag, Stuttgart, 2005, pp. 1208-1218
- [GCW+13] GAUSEMEIER, J.; CZAJA, A.; WIEDERKEHR, O.; DUMITRESCU, R.; TSCHIRNER, C.; STEFFEN, D.: Studie: Systems Engineering in der industriellen Praxis. In: Maurer, M.; Schulze, S. (Hrsg.): Tag des Systems Engineering 2013. Carl Hanser Verlag, München, 2013, S.113-122
- [GDE+19] GAUSEMEIER, J.; DUMITRESCU, R.; ECHTERFELD, J.; PFÄNDER, T.; STEFFEN, D.; THIELEMANN, F.: Innovationen für die Märkte von morgen - Strategische Planung von Produkten, Dienstleistungen und Geschäftsmodellen. Carl Hanser Verlag München, 2019
- [GDS+13] GAUSEMEIER, J.; DUMITRESCU, R.; STEFFEN, D.; CZAJA, A.; WIEDERKEHR, O.; TSCHIRNER, C.: Systems Engineering in der industriellen Praxis. HNI-Verlagsschriftenreihe, Paderborn, 2013
- [Ger16] GERHARDT, F.: Framework zur Einführung des Systems Engineering auf Basis von PLM/ALM Lösungen in Enterprise Architekturen. In: ProduktDatenJournal 1 2016, 2016, pp, 48-52
- [GFD+08] GAUSEMEIER, J.; FRANK, U.; DONOTH, J.; KAHL, S.: Spezifikationstechnik zur Beschreibung der Prinziplösung selbstoptimierender Systeme des Maschinenbaus (Teil 1). In: Konstruktion Juli/August 7/8-2008.

- [GFD+09] GAUSEMEIER, J.; FRANK, U.; DONOTH, J.; KAHL, S.: Specification technique for the description of self-optimizing mechatronic systems. In: Research in Engineering Design, Vol. 20, Number 4, November 2009, Springer, London, 2009
- [Gfs19-ol] Deutsche Gesellschaft für Systems Engineering (GfSE), Statistik zur SE-Zertifizierung, abgerufen 15. Jan 2019 unter: <https://www.sezert.de/en/se-zert-en/statistic.html>
- [GHK+06] GAUSEMEIER, J.; HAHN, A.; KESPOHL, H. D.; SEIFERT, L.: Vernetzte Produktentwicklung. Der erfolgreiche Weg zum Globalen Engineering Network. München, Carl Hanser, 2006
- [GLL12] GAUSEMEIER, J.; LANZA, G.; LINDEMANN, U.: Produkte und Produktionssysteme integrativ konzipieren – Modellbildung und Analyse in der frühen Phase der Produktentstehung. Hanser Verlag, München, 2012
- [GLR+00] GAUSEMEIER, J.; LINDEMANN, U.; REINHART, G.; WIENDAHL, H.: Kooperatives Produktengineering – Ein neues Selbstverständnis des ingenieurmässigen Wirkens. HNI Verlagsschriftenreihe, Band 79, Paderborn, 2000
- [GP14] GAUSEMEIER, J.; PLASS, C.: Zukunftsorientierte Unternehmensgestaltung – Strategien, Geschäftsprozesse und IT-Systeme für die Produktion von morgen. Hanser, München, 2., überarbeitete Auflage, 2014
- [GPW14] GAUSEMEIER, J.; PLASS, C.; WENZELMANN, C.: Zukunftsorientierte Unternehmensgestaltung – Strategien, Geschäftsprozesse und IT-Systeme für die Produktion von morgen. Carl Hanser Verlag, München, 2. Auflage, 2014
- [Gre72] GREINER, L. E.: Evolution and Revolution as Organizations Grow, in: HBR, 50. Jg., Nr. 4, 1972, PP. 37-46
- [Har64] HARARY, F. N.: Structural Models - An Introduction to Theory of Directed Graphs. Wiley, New York, 1964
- [Hay15] Hays: Von Starren Prozessen zu Agilen Projekten, Unternehmen in der digitalen Transformation, Mannheim, 2015
- [Hei58] HEIDER, F.: The Psychology of Interpersonal Relations. Lawrence Erlbaum Associates, Hillsdale, New Jersey, 1958
- [HBK+19] HEIHOFF-SCHWEDE, J.; BRETZ, L.; KAISER, L.; DUMITRESCU, R.: An Explanatory Model as Basis for the Introduction of Systems Engineering and capableIT-Infrastructures in Industry. In: Proceedings of IEEE ISSE 2019, Edinburgh, Scotland
- [HHP17] HOLLIGAN, C.; HARGADEN, V.; PAPAKOSTAS, N.: Product lifecycle management and digital manufacturing technologies in the era of cloud computing. In: 2017 International Conference on Engineering, Technology and Innovation (ICE/ITMC), 2017, pp. 909-918
- [Hit07] HITCHINS, D. K.: Systems engineering – A 21st Century Systems Methodology. John Wiley, West Sussex, England, 2007
- [Hof14] HOFFMANN, H-P.: Harmony Deskbook. Release 4.1, IBM, 2014
- [Hon05] HONOUR, E. C.: A Practical Program of Research to Measure Systems Engineering Return on Investment (SE-ROI). In: Proceedings of the Sixteenth Annual Symposium of the International Council on Systems Engineering, Orlando, 2005
- [Hon13] HONOUR, E. C.: Systems engineering return on investment. Dissertation, Defence and Systems Institute, School of Electrical and Information Engineering, University of South Australia, 2013
- [HTF96] HARASHIMA, F.; TOMIZUKA, M.; FUKUDA, T.: Mechatronics – "What Is It, Why and How?" An Editorial. IEEE/ASME Transactions on Mechatronics, Volume 1, Nr. 1, 1996
- [HUB15] HERTERICH, M. M.; UEBERNICKEL, F.; BRENNER, W.: The Impact of Cyber-Physical Systems on Industrial Services in Manufacturing. In: 7th Industrial Product-Service Systems Conference, 2015, pp. 323-328

- [HWF+12] HABERFELLNER, R.; WECK, O.L. DE; FRICKE, E.; VÖSSNER, S.: Systems Engineering - Grundlagen und Anwendung. 12. Auflage, Orell Füssli Verlag, Zürich, 2012
- [IKD+13] IWANEK, P.; KAISER, L.; DUMITRESCU, R.; NYSSSEN, A.: Fachdisziplinübergreifende Systemmodellierung mechatronischer Systeme mit SysML und CONSENS. In: Maurer, M.; Schulze, S. (Hrsg.): Tag des Systems Engineering 2013. Carl Hanser Verlag, München, 2013, S.337-346
- [Inc07-ol] International Council on Systems Engineering (INCOSE): Systems Engineering Vision 2020, 2007, unter: http://www.incose.org/ProductsPubs/pdf/SEVision2020_20071003_v2_03.pdf
- [Inc12] International Council on Systems Engineering (INCOSE): Incose Systems Engineering Handbuch Version 3.2.2 – Deutsche Übersetzung. GfSE, 2012
- [Inc14] International Council on Systems Engineering (INCOSE): Systems Engineering Vision 2025, 2014, unter: http://www.incose.org/newsevents/announcements/docs/Systems_EngineeringVision_2025_June2014.pdf
- [Inc15] International Council on Systems Engineering (INCOSE): Systems Engineering Handbook – A Guide for System life cycle processes and activities. International Council on Systems Engineering (INCOSE), Version 4, 2015
- [Ise02] ISERMANN, R.: Mechatronische Systeme – Grundlagen. Springer, Berlin, 2002
- [ISO/IEC TR24748-1] ISO/IEC TR 24748-1:2010 Systems and software engineering. Guide to Life Cycle Management
- [ISO15288] ISO 15288:2015: Systems and software engineering — System life cycle Processes
- [ISO19450] ISO/PAS 19450:2015 Automation systems and integration — Object-Process Methodology
- [ISO26702] ISO 26702 Systems Engineering – Application and Management of the Systems Engineering Process, 2007
- [ISO42010] ISO/IEC/IEEE 42010 Systems and software engineering — Architecture description, 2011
- [ITS08] IJZERMAN MJ, VAN TIL JA, SNOEK GJ.: Comparison of two multicriteria decision techniques for eliciting treatment preferences in people with neurological disorders. Patient - Patient-Centr Outcomes Res. 2008;1(4):265–72.
- [Kai14] KAISER, L.: Rahmenwerk zur Modellierung einer plausiblen Systemstrukturen mechatronischer Systeme. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 327, Paderborn, 2014
- [Kas10] KASSER, J. E.: Seven systems engineering myths and the corresponding realities – Proceedings of the Systems Engineering Test and Evaluation Conference, Adelaide, Australia, 2010
- [KB14] KRÜGER, W.; BACH, N.: Excellence in Change - Wege zur strategischen Erneuerung. 5. Auflage, Gabler Verlag, 2014
- [KK13] KALUS, G.; KUHRMANN, M.: Criteria for Software Process Tailoring: A Systematic Review. In: Proceedings of ICSSP'13, San Francisco, 2013, pp. 171-180
- [KL79] KLAUS, G.; LIEBSCHER, H. (HRSG.): Wörterbuch der Kybernetik. Dietz Verlag, Berlin, 1976
- [KL18] Kouamé, S.; Langley, A.: Relating microprocesses to macro-outcomes in qualitative strategy process and practice research. In: Strategic Management Journal, Volume 39, Issue 3, 2018
- [Kot12] KOTTER, J. P.: Leading Change. Harvard Business Review Press, Boston, Massachusetts
- [Kot95] KOTTER, J. P.: Leading Change: Why Transformation Efforts Fail. Harvard Business Review 73, 1995, pp. 59-67
- [Krü09] KRÜGER, W.: Excellence in Change - Wege zur strategischen Erneuerung. Gabler Verlag, 2009

- [Krü94] KRÜGER, W.: Organisation der Unternehmung, 3. Aufl., Stuttgart, 1994
- [Küb69] KÜBLER-ROSS, E.: On Death and Dying. Routledge, 1969
- [LAJ+06] LANDTSHEER, B.; ARTMANN, L.; JAMAR, J.; LIEFDE, J.; MALOTAUX, N.; REINHOUDT, H.; SCHREINEMAKERS, P.: Implementing Systems Engineering: A Step-By-Step Guide. Fifth European Systems Engineering Conference, 18-20. Sept. 2006, 2006
- [Lau19] LAUER, T.: Change Management - Grundlagen und Erfolgsfaktoren. Springer Gabler, 2019
- [Lew47] LEWIN, K.: Frontiers in group dynamics. Concept, method and reality in social science. Social equilibria and social change. In: Human Relations 1, 1947, pp. 5-41
- [Lin09] LINDEMANN, U.: Methodische Entwicklung technischer Systeme. Methoden flexibel und situationsgerecht anwenden. 3. Auflage, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 2009
- [LM89] LEVY, A.; MERRY, U.: Organizational Transformation - Approaches, Strategies, Theories. Praeger, New York, 1986
- [LMB09] LINDEMANN, U.; MAURER, M.; BRAUN, T.: Structural complexity management – An approach for the field of product design. Springer-Verlag, Berlin, 2009
- [MA14] MOSADEGHRAD, A.; ANSARIAN, M.: Why do organisational change programmes fail? In: Int. J. Strategic Change Management, Vol. 5, No. 3, 2014, pp. 189-211
- [Mar97] MARTIN, J. N.: Systems Engineering Guidebook: A Process for Developing Systems and Products. CRC Press, Boca Raton, 1997
- [MB02] MEIERN, T.; BARTH, T.: Service Engineering in Unternehmen umsetzen - Leitfaden für die Entwicklung von Dienstleistungen. Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart, 2002
- [MF80] MILLER, D.; FRIESEN, P. H.: Momentum and Revolution in Organizational Adaption, in: AMJ, 23. Jg., Nr. 4, 1980, PP. 591-614
- [MK13] MÜHLBACHER, A.; KACZYNSKI, A.: Der Analytic Hierarchy Process (AHP): Eine Methode zur Entscheidungsunterstützung im Gesundheitswesen. In: Pharmacocon 11, 2013, pp. 119-132
- [ML03] MÜLLER-STEWENS, G.; LECHNER, C.: Strategisches Management - Wie strategische Initiativen zum Wandel führen. Schäffer-Poeschel, Stuttgart, 2003
- [MR02] MAIER, M. W.; RECHTIN, E.: The art of systems architecting. 2. ed, Boca Raton, CRC Press, 2002
- [MS16] MAY, G.; STAHL, B.: The significance of organizational change management for sustainable competitiveness in manufacturing: exploring the firm archetypes. In: International Journal of Production Research, Volume 55, Issue 15, 2017, pp. 4450-4465
- [MS18] MADINI, A. M.; SIEVERS, M.: Model-based Systems Engineering: Motivation, current status, and research opportunities.
- [MSY+20] MANDEL, C.; STÜRMLINGER, T.; YUE, C.; BEHRENDT, M.; ALBERS, A.: Model-Based Systems Engineering Approaches for the integrated development of product and production systems in the context of Industry 4.0. In: 2020 IEEE International Systems Conference (SysCon), Montreal, QC, Canada, 2020, pp. 1-7
- [Mug08] MUGLER, J.: Grundlagen der BWL der Klein- und Mittelbetriebe. 2. Revised version, Facultas Universitätsverlag, 2008
- [Neu17] NEUMANN, M.: Projekt Safari - das Handbuch für Souveränes Projektmanagement. 2., erweiterte Auflage, Campus Verlag, 2017
- [NFI97] NEGELE, H.; FRICKE, E.; IGENBERGS, E.: ZOPH – A Systemic Approach to the Modeling of Product Development Systems. In: INCOSE International Symposium Volume 7, Issue I, Aug. 3.-7. 1997, pp. 226-273

- [Nis21] VAN NISTELROOIJ, A.: Embracing Organisational Development and Change – An Interdisciplinary Approach Based on Social Constructionism, Systems Thinking, and Complexity Science. Springer, Berlin-Heidelberg, 2021
- [OF06] OSTERLOH, M.; FROST, J.: Prozessmanagement als Kernkompetenz - Wie Sie Business Reengineering strategisch nutzen können. 5. Aufl. Gabler Verlag, Zürich, 2006
- [Omg08] Object Management Group: Software & Systems Process Engineering Meta-Model Specification - Version 2.0. OMG, 2008
- [Omg17-ol] Object Management Group: OMG Systems Modeling Language. Abgerufen am 4.6.2019 unter <http://www.omg.org/spec/SysML/1.5/>
- [Ope18] The Open Group: The Open Group Architecture Framework (TOGAF). 2018
- [OT07] O'REILLY, C. A.; TUSHMAN, M. L.: Ambidexterity as a Dynamic Capability - Resolving the Innovator's Dilemma. Stanford University, Graduate School of Business Stanford, USA, 2007
- [Pat82] PATZAK, G.: Systemtechnik, Planung komplexer innovativer Systeme – Grundlagen, Methoden, Techniken. Springer, Berlin, New York, 1982
- [PBF+07] PAHL, G.; BEITZ, W.; FELDHUSEN, J.; GROTE, K.-H.: Konstruktionslehre – Grundlagen erfolgreicher Produktentwicklung Methoden und Anwendung. Springer-Verlag, Berlin, 7. Auflage, 2007
- [PBF+13] PAHL, G.; BEITZ, W.; FELDHUSEN, J.; GROTE, K.-H.: Konstruktionslehre – Grundlagen erfolgreicher Produktentwicklung Methoden und Anwendung. Springer-Verlag, Berlin, 9. Auflage, 2013
- [Pes10] PESCHER, J.: Change Management – Taxonomie und Erfolgsauswirkungen. Gabler Verlag, Dissertation, TU Darmstadt, 2010
- [Pet88] PETTIGREW, A. M.: The Management of Strategic Change, Wiley, Oxford, 1988
- [Pfo06] PFOHL, HC.: Betriebswirtschaftslehre der Mittel- und Kleinbetriebe: Größenspezifische Probleme und Möglichkeiten zu ihrer Lösung. In: Management und Wirtschaft Praxis, Band 44, Erich Schmidt Verlag, 2006
- [PM06] PETRASCH, R.; MEIMBERG, O.: Model Driven Architecture – Eine praxisorientierte Einführung in die MDA. dpunkt Verlag, Heidelberg, 2006
- [PRL+15] Piazza, J.; Ruby, M. B.; Loughnan, S.; Luong, M.; Kulik, J.; Watkins, H. M.; Seigerman, M.: Rationalizing meat consumption. The 4Ns. In: Appetite, Volume 91, 2015, pp. 114-128
- [QH01] QUATTRONE, P.; HOPPER, T.: What does organizational Change Mean? Speculations on a Taken for Granted Category. Management Accounting Research 12, 4, 2001, pp. 403-435
- [RFB12] RAMOS, A. L.; FERREIRA, J.; BARCELO, J.: Model-Based Systems Engineering: An Emerging Approach for Modern Systems. In: Proceedings of IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, 2012
- [RFB13] RAMOS, A. L.; FERREIRA, J. V.; BARCELO, J.: Lithe: An Agile Methodology for Human-Centric Model-Based Systems Engineering. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems, 3/2013, S. 504-521
- [Rop14] ROPPEL, K.: Unternehmenskultur macht den Unterschied – KMU und Konzerne im Vergleich. In: Die Wirtschaftsmeditation 2/2014, 2014
- [RR09] RHODES, D.; ROSS, A. M.: Concept Design and Tradespace Exploration. Systems Engineering Advancement Research Initiative (SEArI), 2009
- [RS97] RAJAGOPALAN, N.; SPREITZER, G. M.: Foward a Theory of Strategic Change: A Multi-Lens Perspective and Integrative Framework. Academy of Management Review 22, 1, 1997, pp. 48-79

- [SA74] SCHULZ, R.; ADEMAN, D.: Clinical Research and the Stages of Dying. In: Omega, Jg. 5, No. 2, 1974, S. 137-143.
- [Saa80] SAATY, T.L.: The analytic hierarchy process: planning, priority setting, resource allocation. 2. Auflage, New York: McGraw-Hill, 1980
- [SB09] STETTER, R.; BLUM, T.: Verschläft der Deutsche Maschinenbau seine Chancen? – Mechatronische Möglichkeiten im internationalen Wettbewerb. 2009
- [SB18] SHAVALIEV, A. S.; PURYAEV, A. S.: Agile in project management systems in mechanical engineering. In: IOP Conference Series: Material Science and Engineering 412
- [SBI+19] STÜTZEL, B.; BORCHARDT, L.; ILLA, T.; GERLING, C.: Systems Engineering in Deutschland - Die deutsche Unternehmenslandschaft im Vergleich. Prozesswerk Studie, 2019
- [SBL10] SCHLICK, C.; BRUDER, R.; LUCZAK, H.: Arbeitswissenschaften. 3., vollständig überarbeitete und erweiterte Auflage. Springer Heidelberg Dordrecht London New York, 2010
- [Sch00] SCHMIDT, G.: Grundlagen der Aufbauorganisation. 4. Auflage. Verlag Dr. Götz Schmidt, Gießen, 2000
- [Sch06] SCHUH, G.: Change Management - Prozesse strategiekonform gestalten. Springer, Berlin, 2006
- [SCH19] SCHIERBAUM, A. M.: Systematik zur Ableitung bedarfsgerechter Systems Engineering Leitfäden im Maschinenbau. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, Verlagsschriftenreihe des Heinz Nixdorf Instituts, Band 391, Paderborn, 2019
- [Sch84] SCHLÖDER, B.: Konsistenz und Konflikt in Heiders Balancetheorie. Dissertation, Rheinische Friedrich Wilhelms-Universität Bonn, 1984
- [Sch96] SCHEIN, E. H.: Kurt Lewin's change theory in the field and in the classroom: notes towards a model of management learning. In: Systems Practice, 9. 1, 1996, pp. 27-47
- [SE12a] SCHLEIDT, B.; EIGNER, M.: Humanfaktoren im Systems Engineering. TdSE 2012 –Tag des Systems Engineering, Paderborn, 08./09. November 2012
- [SEBoK19] SEBOK: Systems Engineering Body of Knowledge – <http://www.sebokwiki.org>, 2019
- [Sei11] Software Engineering Institute: CMMI für Entwicklung, Version 1.3 - SEI-sanctioned GERMAN translation of CMMI-Dev, V1.3, 2011
- [SES+16] STEFFEN, D.; ENGE, E.; SCHULZE, S.-O.; CZAJA, A.: Pragmatisches Reifegradmodell zur Einführung von Systems Engineering. In: Maurer M, Schulze S-O. Tag des Systems Engineering. Hanser, 2016, pp. 269-278
- [SH09] STOLZENBERG, K.; HEBERLE, K.: Change Management - Veränderungsprozesse erfolgreich gestalten - Mitarbeiter mobilisieren. 2. Auflage, Springer Verlag Berlin, 2009
- [She96] SHEARD, S.: Twelve Systems Engineering Roles. In: Proceedings of the INCOSE Sixth Annual International Symposium, Boston, Massachusetts, 1996
- [SM11] STRAK, R.; MÜLLER, P.: HLB-Entwicklungsmethodik - generischer Entwicklungsprozess, Generierung von Anforderungen und Absicherung hybrider Leistungsbündel. In: Meier, H.; Uhlenmann, E. (Hrsg.): Integrierte industrielle Sach- und Dienstleistungen. Springer Verlag, Berlin, 2011
- [SPW18] SCHMIDT, T. S.; PAETZOLD, K.; WEISS, S.: Agile Entwicklung physischer Produkte - Chancen und Herausforderungen. Verein Deutscher Ingenieure, VDI Statusreport, Düsseldorf, 2018
- [SS20] SCHWABER, K.; SUTHERLAND J.: The Scrum Guide. 2020 Abgerufen unter <https://www.scrumguides.org/index.html> am 6. 01.2021

- [SSG09] SMERLINSKI, M.; STEPHAN, M.; GUNDLACH, C.: Innovationsmanagement in hessischen Unternehmen: Eine empirische Untersuchung zur Praxis in klein- und mittelständischen Unternehmen. Discussion Papers on Strategy and Innovation, No. 09-01, 2009
- [Sta14] STAHL, J.: Organisationaler Wandel durch Koalitionsbildung - Eine anreiz-beitrags-theoretische Erklärung mitarbeiterinduzierter Veränderungsprozesse. Springer Gabler, 2014
- [Sta18-ol] Statistisches Bundesamt. Fachserie 4, Reihe 4.1.2. 2018 Abgerufen unter: https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/IndustrieVerarbeitendesGewerbe/Strukturdaten/BetriebeTaetigePersonen2040412177004.pdf?__blob=publicationFile am 15.02.2019
- [Sta73] STACHOWIAK, H.: Allgemeine Modelltheorie. Springer-Verlag, Wien, 1973
- [Str99] STRAUSS, B.: Kundenzufriedenheit. In: Marketing - ZFP (21), 1999, pp. 5-24
- [SV19] SHVEDENKO, V.N.; VOLKOV, A. A.: A Method for Digital Twin Generation Based on the Aggregation of Information Objects. In: Automatic Documentation and Mathematical Linguistics 53, 2019, s. 122-126.
- [Sys14] Systems Engineering Research Center (SERC): 2010 Annual Report – A US Department of Defense University Affiliated Research Center. Unter: http://www.sercuarc.org/uploads/files/SERC-InsidePages2010_FINAL.pdf, 8. Januar 2014
- [TG18] TRÄCHTLER, A.; GAUSEMEIER, J.: Steigerung der intelliganz mechatronischer Systeme. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, 2018
- [Tro13-ol] TROST, A.: Human Resource Management. Abgerufen unter: www.arminrost.de am 23.07.2018
- [Tsc16] TSCHIRNER, C.: Rahmenwerk zur Integration des modellbasierten Systems Engineering in die Produktentstehung mechatronischer Systeme. Dissertation, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 363, Paderborn, 2016
- [UP95] ULRICH, H.; PROBST, G. J. B.: Anleitung zum ganzheitlichen Denken und Handeln – Ein Brevier für Führungskräfte. Haupt, Bern, 4. unveränd. Auflage, 1995
- [Vah05] VAHS, D.: Organisation. Einführung in die Organisationstheorie und -praxis. 5. Auflage, Schäffer-Poeschel Verlag, Stuttgart, 2005
- [VAP+17] VOGELSANG, A.; AMORIM, T.; PUDLITZ, F.; GERSING, P.; PHILIPPS, J.: Should I Stay or Should I Go? On Forces that Drive and Prevent MBSE Adoption in the Embedded Systems Industry. 2017
- [VDI2206] Verband Deutscher Ingenieure: VDI-Richtlinie VDI 2206, Entwicklungsmethodik für mechatronische Systeme, 2004
- [VDM18] Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbauer (VDMA): Kennzahlen zu Forschung und Innovation. Frankfurt am Main, 2018
- [Vog18] VOGEL, W.: Complexity Management in variant-rich product development. Teil einer Kumulativen Dissertation. Technische Universität Dresden, <https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:bsz:14-qucosa2-365124>, 2018
- [Vog19] VOGELSANG, A.: Reif für MBSE? Ein Reifegradmodell für modellbasiertes SE. Präsentation von A. Vogelsang am Fraunhofer IEM, 2019
- [VWB+09] VAJNA, S.; WEBER, C.; BLEY, H.; ZEMAN, K.: CAx für Ingenieure. Eine praxisbezogene Einführung. 2. Auflage, Springer-Verlag, Heidelberg, 2009
- [Wei13] WEISBERG, M.: Simulation and Similarity – using models to understand the world. Oxford University Press, New York, 2013
- [Wei14] WEILKIENS, T.: Systems Engineering mit SysML/UML – Anforderungen, Analyse, Architektur. 3., überarbeitete und aktualisierte Auflage dpunkt.Verlag, Heidelberg, 2014

- [Wei19] Verein zur Weiterentwicklung des V-Modell XT e.V. (Weit e.V.: V-Modell XT. Das deutsche Referenzmodell für Systementwicklungsprojekte. Version 2.3, 2019
- [Wes17] WESTERMANN, T.: Systematik zur Reifegradmodell-basierten Planung von Cyber-Physical Systems des Maschinen- und Anlagenbaus. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, Verlagsschriftenreihe des Heinz Nixdorf Instituts, Band 375, Paderborn, 2017
- [Wit07] WITTENSTEIN, A.-K.: Bedarfssynchrone Leistungsverfügbarkeit in der kundenspezifischen Produktentwicklung. Dissertation, Institut für industrielle Fertigung und Fabrikbetrieb, Universität Stuttgart, Fraunhofer Institut für Produktionstechnik und Automatisierung, Stuttgart, Jost-Jetter Verlag, Heimsheim, 2007
- [WR15] WOLF, H.; ROOCK, S.: Agile Softwareentwicklung - Ein Überblick. 4., aktualisierte Auflage, dpunkt.verlag, 2015
- [XCW+06] XIAO, Z.; CHANG, H.; WEN, S.; YI, Y.; INOUE, A.: An Extended Meta-model for Workflow Resource Model. In: KSEM 2006, Springer Verlag, Berlin Heidelberg, 2006, pp. 525-534
- [ZEW15] Zentrum für Europäische Wirtschaftsforschung GmbH (ZEW): Branchenreport Innovationen - Ergebnisse der deutschen Innovationserhebung 2014, 2015
- [ZEW17] Zentrum für Europäische Wirtschaftsforschung GmbH (ZEW): Branchenreport Innovationen - Ergebnisse der deutschen Innovationserhebung 2016, 2017

Anhang

Inhaltsverzeichnis	Seite
A1 Zusammenhänge im Erklärungsmodell	A-1
A2 Systems Engineering Ziele	A-2
A2.1 Analyisierte TdSE Beiträge	A-2
A2.2 Priorisierung der Ziele	A-4
A2.3 Beschreibung der Ziele der Zielpyramide	A-5
A3 Externalisierungsmöglichkeiten statt der SE-Einführung	A-10
A4 Steckbriefe Einführungs-Ansätze	A-11
A5 Arten von Maßnahmen	A-14
A6 Operationalisierungskonzept	A-17
A7 Archetypische SE-Aufbauorganisationen	A-21

A1 Zusammenhänge im Erklärungsmodell

Bild A-1 skizziert die Zusammenhänge der Inhalte des in Kapitel 4.2.1 dargestellten Erklärungsmodells.

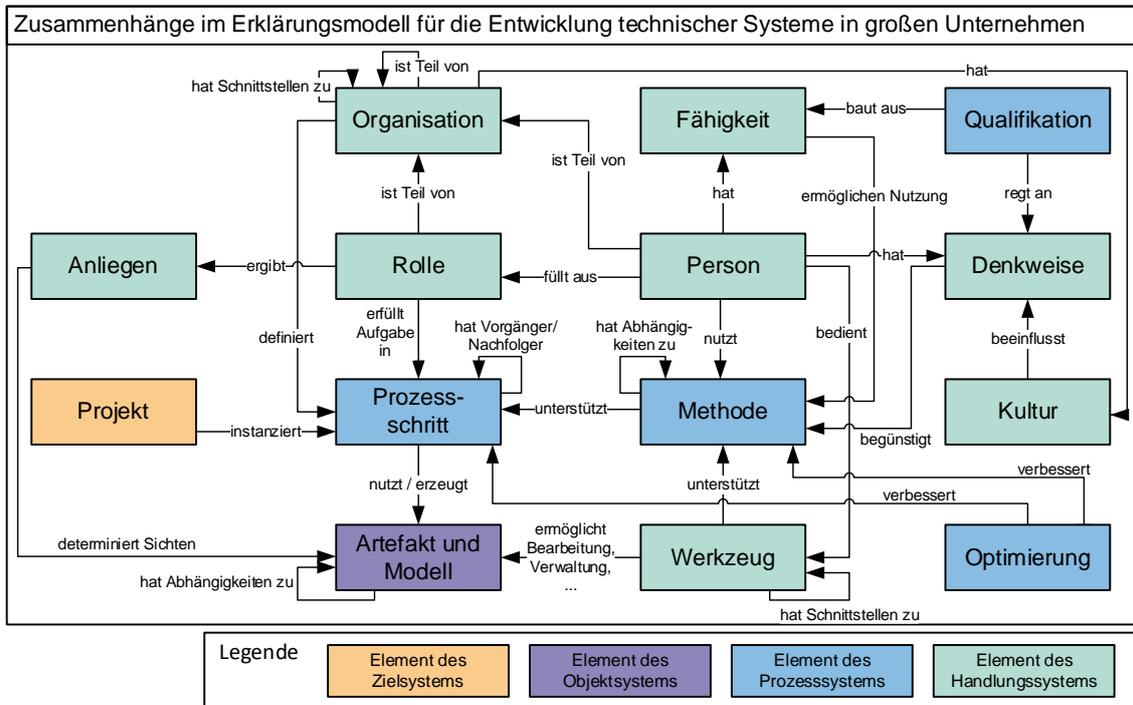


Bild A-1: Skizzierte Zusammenhänge im Erklärungsmodell, ausgehend von [HBK+19]

A2 Systems Engineering Ziele

A2.1 Analyisierte TdSE Beiträge

	2016	2017	2018
Anzahl Dokumente	42	35	31
Anzahl relevanter Dokumente	11	8	3

2016

- BIELEFELD, O., DRANSFELD, H., SCHLÜTER, N., YAZDANMADAD, S., WINZER, P.: Modellbasierte Analyse komplexer Fehlerketten zur Erhöhung der Verlässlichkeit in der Produktentwicklung. In: Maurer & Schulze - TdSE Herzogenaurach, Deutschland, 2016, ISBN 978-3-446-45126-1
- BURSAC, N., ALBERS, A., ÖLSCHLAGER, M.: Baukastenentwicklung durch MBSE am Beispiel einer modularen Fertigungsanlage im Kontext der Industrie 4.0. In: Maurer & Schulze - TdSE Herzogenaurach, Deutschland, 2016, ISBN 978-3-446-45126-1
- HUCKRIEDE, V., JOACHIM, B., STORCK, S.: Systems Engineering im Maschinen- und Anlagenbau verstehen, anwenden und beherrschen. In: Maurer & Schulze - TdSE Herzogenaurach, Deutschland, 2016, ISBN 978-3-446-45126-1
- KLEINER, S., HUSUNG, S.: Model Based Systems Engineering: Prinzipien, Anwendung, Beispiele, Erfahrung und Nutzen aus Praxissicht. In: Maurer & Schulze - TdSE Herzogenaurach, Deutschland, 2016, ISBN 978-3-446-45126-1
- KOCHSEDER, R., RETTNER, J., HÖFLER, W., HORN, S., DIELMANN, B.: Komplexität beherrschen mit Core Modeling. In: Maurer & Schulze - TdSE Herzogenaurach, Deutschland, 2016, ISBN 978-3-446-45126-1
- KOLLEND, K.: Systems Engineering im Anlagenbau – Methoden für den erfolgreichen Umgang mit Komplexität. In: Maurer & Schulze - TdSE Herzogenaurach, Deutschland, 2016, ISBN 978-3-446-45126-1
- MELZER, S., WITTK, U., HINTZE, H., GOD, R.: Physische Architekturen variantengerecht aus Funktionalen Architekturen für Systeme (FAS) spezifizieren. In: Maurer & Schulze - TdSE Herzogenaurach, Deutschland, 2016, ISBN 978-3-446-45126-1
- NEUMEYER, S., LÜNNEMANN, P., WOLL, R., HAYKA, H., STARK, R.: Systems Engineering im Kontext der unternehmensübergreifenden Produktentwicklung. In: Maurer & Schulze - TdSE Herzogenaurach, Deutschland, 2016, ISBN 978-3-446-45126-1
- RAMBO, J., HUWIG, C., LANGLOTZ, M., HÄMISCH, R.: Einschätzungen zum MBSE im Rahmen der Entwicklung komplexer Fahrzeugsysteme. In: Maurer & Schulze - TdSE Herzogenaurach, Deutschland, 2016, ISBN 978-3-446-45126-1
- STEFFEN, D., ENGE, E., SCHULZE, S.-O., CZAJA, A.: Pragmatisches Reifegradmodell zur Einführung von Systems Engineering. In: Maurer & Schulze - TdSE Herzogenaurach, Deutschland, 2016, ISBN 978-3-446-45126-1
- TREUE, I., ROCKEL, H.: SE-Qualifizierung – ein wesentlicher Erfolgsfaktor. In: Maurer & Schulze - TdSE Herzogenaurach, Deutschland, 2016, ISBN 978-3-446-45126-1

2017

- BAGARIA, D., GROßMANN, D., BURDACH, T.: Determining Complexity of Mechatronic Systems using McCabe's Complexity Metric. In: Schulze, Tschirner, Kaffenberger, Ackva - TdSE Paderborn, Deutschland, 2017, ISBN 978-3-446-45538-2
- BIELEFELD, O., SCHLÜTER, N., WINZER, P.: KAUSAL – Eine Methodik zur modellbasierten Analyse komplexer Fehlerketten. In: Schulze, Tschirner, Kaffenberger, Ackva - TdSE Paderborn, Deutschland, 2017, ISBN 978-3-446-45538-2
- BRANDSTÄTTER, M., RODER, K.: Ein „Artefaktmodell“ zur Verbesserung der Prozessmodellierung. In: Schulze, Tschirner, Kaffenberger, Ackva - TdSE Paderborn, Deutschland, 2017, ISBN 978-3-446-45538-2
- DI MAIO, M., GRUNDEL, M., HOPPE, M., KLUSMANN, N.: Cutting the „Cross-Cutting“ Part 2: Interface Management. In: Schulze, Tschirner, Kaffenberger, Ackva - TdSE Paderborn, Deutschland, 2017, ISBN 978-3-446-45538-2
- GEPP, M., VOLLMAR, J., SCHERTL, A., PALM, H.: Ein Blick auf Zukunftsszenarien und Herausforderungen für das zukünftige Engineering im Anlagenbau. In: Schulze, Tschirner, Kaffenberger, Ackva - TdSE Paderborn, Deutschland, 2017, ISBN 978-3-446-45538-2
- HEIDRICH, J., BECKER, M., KUHN, T., KLEINBERGER, T., DAMM, M., DUELL, A.: Systems Engineering as an Enabler for Future Innovation. In: Schulze, Tschirner, Kaffenberger, Ackva - TdSE Paderborn, Deutschland, 2017, ISBN 978-3-446-45538-2
- MEENKEN, T.: Eine Umfrage über die Ausprägung von Systems Engineering. In: Schulze, Tschirner, Kaffenberger, Ackva - TdSE Paderborn, Deutschland, 2017, ISBN 978-3-446-45538-2
- SCHULTE, T., GROB, S., LANGER, S., KIRSCH, L.: ConfigML – Erste prototypische Realisierung einer Verwaltung von Modellen mit Modellen im PLM. In: Schulze, Tschirner, Kaffenberger, Ackva - TdSE Paderborn, Deutschland, 2017, ISBN 978-3-446-45538-2

2018

Die Analyse der Inhalte des TdSE 2018 erfolgte auf Basis der Präsentationen auf der der INCOSE EMEASEC, da zum Zeitpunkt der Literaturanalyse noch kein Konferenzband veröffentlicht wurde.

- KATTNER, N., BECERRIL, L., BRANDL, F.: Systemic Change Management – Managing Technical Changes in Products and Production Systems: a requirements review. In: INCOSE EMEASEC, Berlin, Deutschland, 05.-07. November 2018.
- STANDKE, A., LIAMIS, A.: Introducing Systems Engineering in big corporation organizational structures – A practical approach to culture change in the Automotive Industry. In: INCOSE EMEASEC, Berlin, Deutschland, 05.-07. November 2018.
- ZINGEL, C., FRITZ, J., TAUSCHITZ, D.: Function-Oriented Systems Thinking – A Debate on Systems Engineering Principles in Large Organizations. In: INCOSE EMEASEC, Berlin, Deutschland, 05.-07. November 2018.

A2.2 Priorisierung der Ziele

Bild A-2 stellt das Ergebnis einer Umfrage unter 60 Systems Engineering Interessierten und Experten im Rahmen der Fachgruppe Systems Engineering it's OWL dar. Die Ziele entsprechend den Zielen der Zielepyramide. Es wurden auch auf Nachfrage keine weiteren Ziele genannt. Die Teilnehmer wurden gefragt „Die wichtigsten Ziele eines Unternehmens für die SE-Einführung sind...“

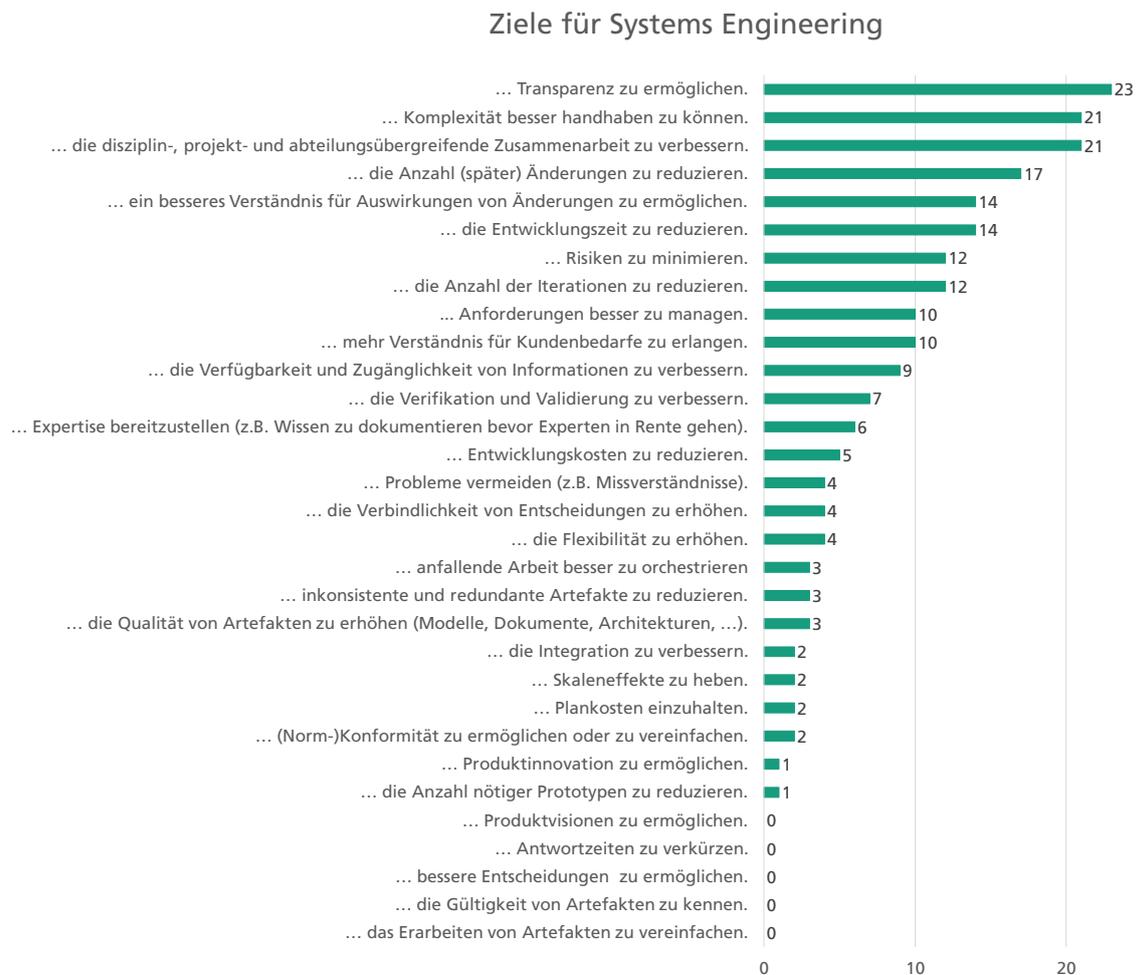


Bild A-2: Ergebnis der Umfrage „Bedeutung von Zielen der SE-Einführung“

A2.3 Beschreibung der Ziele der Zielpyramide

Tabella A-1: Ziele aus dem Bereich „Basis“

Nr.	Bereich / Sub-Bereich	Ziel	Beschreibung
Basis-Ziele			
1		Anforderungen erfüllen	Die grundlegende Erfüllung von Anforderungen an zu entwickelnde Systeme soll verbessert werden. Ziel ist es sicherzustellen, dass Systeme in Zukunft die gestellten Anforderungen erfüllen.
2		Zielkosten einhalten	Die Einhaltung der geplanten Kosten in Entwicklungsprojekten ist sicherzustellen. Plankosten beziehen sich dabei sowohl auf Projekt-, als auch auf Systemkosten des zu entwickelnden Systems.
3		Norm-Konformität sicherstellen	Ziel ist es, Ansprüchen gerecht zu werden, die im Rahmen relevanter Normen an das Unternehmen, seine Prozesse, Werkzeuge, IT-Systeme und Produkte gestellt werden.

Tabella A-2: Ziele aus dem Bereich „Funktionale Ziele“

Nr.	Bereich / Sub-Bereich	Ziel	Beschreibung
Funktionale Ziele			
4	Ökonomie	Umsätze erhöhen	Ziel ist es, den Unternehmensumsatz zu erhöhen ohne ein (proportionales) Kostenwachstum zu generieren.
5		Kosten reduzieren	Ziel ist es, die Entwicklungs- und/oder Produktkosten zu senken ohne eine Umsatzreduzierung zu erzeugen.
6	Performance	Produktqualität sicherstellen	Ziel ist es, die Erfüllung der Qualitätsansprüche an das System sicherzustellen.
7		Skaleneffekte heben	SE und MBSE sollen dabei unterstützen, vermutete Skaleneffekte im Rahmen der Produktenstehung zu nutzen, beispielsweise über Produktgruppen hinweg.
8		Innovation ermöglichen	Systems Engineering Methoden und Ansätze sollen dabei unterstützen, innovative Lösungen für die Probleme der Kunden zu finden, die zuvor nicht gefunden worden sind.

Tabelle A-3: Ziele aus dem Bereich „Vereinfachung und Optimierung - Produktivität“

Nr.	Bereich / Sub-Bereich	Ziel	Beschreibung
Vereinfachung u. Optimierung			
9	Produktivität	Besser informieren	Ziel ist es, relevante Informationen, die bislang nur einzelnen/wenigen Personen bekannt sind, besser an das gesamte Team zu verteilen.
10		Ärger vermeiden	Ziel ist es, Stress und Ärger bei den Mitarbeitern zu reduzieren, z.B. um mehr Zufriedenheit, Produktivität und Qualität zu erzielen.
11		Änderungen reduzieren	Unnötige Änderungen, also solche, die nicht aus veränderten Rahmenbedingungen folgen, sollen reduziert bzw. ganz vermieden werden.
12		Aufwand reduzieren	Der Aufwand, der für konkrete Tätigkeiten anfällt soll reduziert werden. In der stärksten Ausbaustufe sollen bestimmte Tätigkeiten vollständig automatisiert werden.
13		Zeit/Iterationen einsparen	Die Zeit, die für die bis zur Marktreife benötigt wird, soll reduziert werden. Der größte Zeitverlust kommt oft durch ungeplante Iterationen aufgrund von Fehlern oder Abstimmungsproblemen - solche Iterationen sollen vermieden werden.
14		Tätigkeiten vereinfachen	Ziel ist es Tätigkeiten, die heute aufwändig sind, zu vereinfachen, z.B. indem bessere Methoden und Werkzeuge bereitgestellt werden oder das Personal besser geschult wird.

Tabella A-4: Ziele aus dem Bereich „Vereinfachung und Optimierung - Operativ“ und „Vereinfachung und Optimierung - Zugriff“

Nr.	Bereich / Sub-Bereich	Ziel	Beschreibung
Vereinfachung u. Optimierung			
15	Operativ	Komplexität beherrschen	Ziel ist es, die vorhandene Komplexität in System und Prozess zu beherrschen bzw. zu managen. SE Ansätze sollen eingesetzt werden um dies zu erreichen, z.B. durch Aufteilen des Problems, etc.
16		Integration verbessern	Die Integration soll verbessert werden. Hierzu müssen die Tätigkeiten auf der linken Seite des V-Modells durch geeignete Denkweisen, Methoden und Werkzeuge so unterstützt werden, dass die Probleme in der Integration vermieden werden.
17		Arbeit orchestrieren	Die Effektivität und Effizienz der Zusammenarbeit sollen verbessert werden, z.B. indem Abstimmungen optimiert oder Reibungsverluste in der Zusammenarbeit reduziert werden.
18		Auswirkungen besser analysieren	Ziel ist es, die Auswirkungen von angedachten Änderungen am System zu verstehen, z.B., um ungewollte Einflüsse auf (andere) Systeme zu vermeiden, um mit der Änderung verbundene Risiken besser einzuschätzen oder um eine bessere Entscheidungsbasis zu erhalten.
19	Zugriff	Verfügbarkeit erhöhen	Die Verfügbarkeit von Informationen soll erhöht werden, dazu müssen die relevanten Informationen explizit dokumentiert und transparent abgelegt werden. Nötige Schnittstellen müssen geschaffen werden.
20		Transparenz ermöglichen	Die Transparenz von Artefakten soll erhöht werden, um so mehr Klarheit über den aktuellen Stand der Dinge, Abhängigkeiten, offene Punkten, etc. zu erhalten.
21		Redundanz reduzieren	Ziel ist die Beseitigung von ungewollter Redundanz von Artefakten und das Einrichten einer Single Source of Truth für die verschiedenen Aspekte der Produktentstehung.
22		Gültigkeit sicherstellen	Durch geeignete Prozesse und Werkzeugunterstützung soll sichergestellt werden, dass die Gültigkeit von Artefakten eindeutig bekannt ist.

Tabelle A-5: Ziele aus dem Bereich „Vereinfachung und Optimierung - Zusammenarbeit“ und „Vereinfachung und Optimierung - Strategisch“

Nr.	Bereich / Sub-Bereich	Ziel	Beschreibung
Vereinfachung u. Optimierung			
23	Zusammenarbeit	Disziplinübergreifende Zusammenarbeit verbessern	Ziel ist es, die Zusammenarbeit von Mitarbeitern unterschiedlichster Disziplinen zu verbessern, z.B. mithilfe systemischen Denkens und gemeinsamen Sprachen und Modellen.
24		Verbindlichkeit erhöhen	Die Verbindlichkeit von Entscheidungen und Dokumenten soll erhöht werden. Hierzu sollen das Systemdenken und eine SE-gerechte Kooperationskultur unterstützen.
25		Schnellere Rückmeldung	Die Geschwindigkeit, mit der Fragen im Rahmen der Produktentstehung beantwortet werden, soll erhöht werden. Beispielsweise durch bessere Prozesse, höhere Transparenz oder Automatisierung.
26		Expertise bereitstellen	Ziel ist es, die im Unternehmen vorhandene Expertise besser für alle Mitarbeiter bereitzustellen. Dies bezieht sich insbesondere auf System- und Lösungsbezogenes Wissen, aber auch auf Wissen zu Prozessen-, Methoden und Werkzeugen.
27	Strategisch	Risiken reduzieren	Der gezielte Einsatz von SE und MBSE Methoden soll das Risikomanagement unterstützen um Risiken insbesondere im technischen Bereich, aber auch im Projektmanagement zu reduzieren.
28		Flexibilität erhöhen	Ziel des SE Einsatzes ist es, die Flexibilität in der Entwicklung zu erhöhen um so z.B. schneller auf Änderungen reagieren zu können oder ein breiteres Spektrum unterschiedlicher Systeme handhaben zu können.
29		Kunden besser verstehen	Ziel ist es, die Bedarfe des oder der Kunden besser zu verstehen, um die eigene Leistung besser an diese Bedarfe anzupassen.
30		Qualität von Artefakten erhöhen	Durch den Einsatz geeigneter Prozesse, Methoden und Werkzeuge soll die Qualität von Artefakten (Dokumenten, Modellen, etc.) erhöht werden.

Tabelle A-6: Ziele aus dem Bereich „Individuelle Werte“

Nr.	Bereich / Sub-Bereich	Ziel	Beschreibung
Individuelle Werte			
31		Netzwerke vergrößern	Durch die Arbeit an und mit Systems Engineering und Model-Based Systems Engineering soll das persönliche Netzwerk interdisziplinär, Unternehmens-weit und darüber hinaus erhöht werden.
32		Eigenen Marktwert erhöhen	Durch den Aufbau von Kompetenz und Ruf in einem wichtigen Themenfeld soll der eigene Wert (eines Mitarbeiters) für Unternehmen erhöht werden.
33		Guten Ruf sicherstellen	Durch den Aufbau von Kompetenz und Ruf in einem wichtigen Themenfeld soll der eigene Ruf (eines Mitarbeiters) für Unternehmen erhöht werden.

Tabelle A-7: Ziel aus dem Bereich „Inspiration“

Nr.	Bereich / Sub-Bereich	Ziel	Beschreibung
Inspiration			
34		Produktvision ermöglichen	Durch SE soll sichergestellt werden, dass innovative und neue Visionen für zukünftige Systeme systematisiert hergeleitet werden können und werden.

A3 Externalisierungsmöglichkeiten statt der SE-Einführung

Ansätze außerhalb der Betrachtung (Externalisierung)

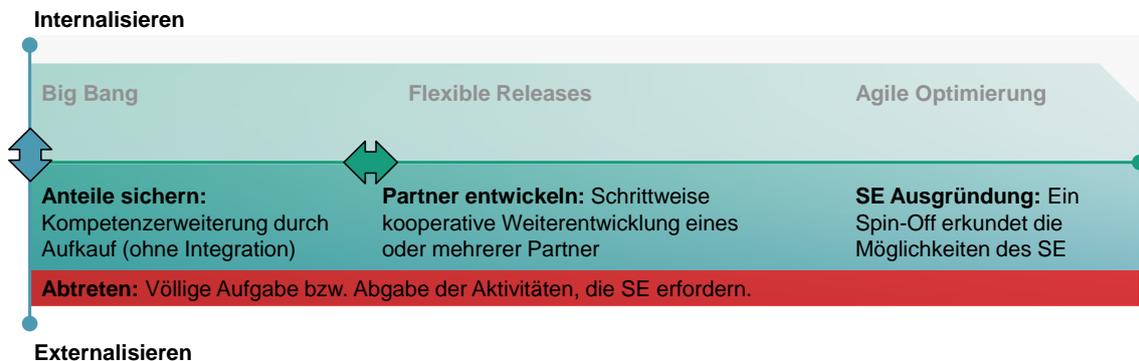


Bild A-3: Ansätze zum Umgang mit SE außerhalb der Internalisierung

Anteile sichern: Die notwendige SE-Kompetenz wird extern zugekauft, indem die notwendigen Anteile an einem Unternehmen mit den notwendigen Kompetenzen gesichert werden. Die Kompetenz kann so zwar schnell formal erworben werden, diese effizient für die eigenen Herausforderungen einzusetzen ist jedoch erst nach ausführlicheren Veränderungen möglich. Hierbei muss die aufgekaufte Kompetenz entweder in die eigenen Prozesse integriert werden (was wieder ein internes Veränderungsprojekt bedeutet) oder die Anteile der Aufgaben, die SE erfordern müssen an den neuen Kompetenzbereich übertragen werden. Dies ist jedoch nur bei klar abgegrenzten Aufgaben möglich und der politische Wille hierzu muss ebenfalls sichergestellt sein.

Partner entwickeln: Die notwendige SE-Kompetenz wird so weit wie möglich ausgelagert, indem Partner als Systemlieferanten oder Integrationspartner genutzt werden. Mit den entsprechenden Partnern müssen dazu auch Vereinbarungen zur SE-bezogenen Weiterentwicklung getroffen werden. Die entsprechenden Kompetenzen werden schrittweise aufgebaut und in definierten Zyklen in das operative Geschäft überführt. So kann lediglich die Subsystemkomplexität beherrscht werden.

SE Ausgründung: Die SE-Ausgründung hat zum Ziel, die Möglichkeiten des SE außerhalb des operativen Geschäfts zu erproben. Vergleichbar zur Option Partner entwickeln, soll die Kompetenz außerhalb des Unternehmens aufgebaut werden. Abweichend davon werden hier jedoch keine mittel- oder langfristigen Planungen durchgeführt, die Arbeit findet stattdessen kurzzyklisch, z. B. in einem agilen Arbeitsmodus statt.

Abtreten: Ist der Bedarf für SE auf einen Bereich beschränkt, der aus dem Unternehmen abtreten werden kann, wird dieser Bereich aus dem Unternehmen entfernt. Dies kann beispielsweise eine bestimmte Produktgruppe betreffen, wenn diese für das Unternehmen keine strategische Bedeutung besitzt, während sie gleichzeitig Herausforderungen mit sich bringt, die das Unternehmen nicht oder kaum bewältigen kann.

A4 Steckbriefe Einführungsansätze

Name: Big Bang	Datum: 4.10.2019	Stand: 1.4
Big Bang		Agile Optimierung
<p>Charakteristika: Der Big Bang beschreibt die Einführung aller Veränderungen mit einem Schlag. Nach einer ausführlichen Vorbereitungsphase wird ein einzelner Release-Termin definiert, zu dem alle relevanten Veränderungen in der gesamten betrachteten Organisation Inkrafttreten. Entsprechend müssen zu diesem Termin nicht nur die Veränderungen (z.B. Prozesse, Methoden, ...) definiert sein, sondern auch alle notwendigen Vorbereitungsmaßnahmen wie Befähigung, Bereitstellung von Werkzeugen, etc., müssen abgeschlossen sein.</p>		
<p>Vorteile des Ansatzes:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Kompatibilität: Durch die ausführliche Vorbereitung kann sichergestellt werden, dass alle Teilaspekte der (MB)SE Einführung zueinander konsistent und kompatibel sind. Bei der Anwendung sind keine ungeplanten Brüche in Prozessen, Methoden oder Werkzeugen zu erwarten. ▪ Planungssicherheit: Veränderungen an Organisation, Prozessen und Rollen erfordern eine Phase der Umgewöhnung, in der z.B. Ansprechpartner und Prozesse neu kennengelernt werden. Für die betroffenen Mitarbeiter ist die Phase der Unsicherheit so kurz wie möglich. Die Neuerungen sind klar definiert und nach dem Inkrafttreten der Veränderung stabil. ▪ Transparenz: Der Einführungsstatus und die Gültigkeit veränderter Prozesse, Werkzeuge, Organisationen, etc. ist für alle transparent und einfach zu verstehen. 	<p>Nachteile des Ansatzes</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Vorbereitungszeit: Die notwendige Vorbereitung für eine vollständige (MB)SE Einführung mit einem Big Bang ist aufwändig, die Veränderung kann unter Umständen erst mehrere Jahre nach dem Start des Veränderungsprojekts im operativen Geschäft greifen. ▪ Umfang: Der Umfang der Veränderung ist, verglichen mit den anderen Optionen, am größten und kann zu besonders starken Abwehrreaktionen führen (vgl. Radikaler Wandel und Wandel 2. Ordnung in Kapitel 2.4.1) ▪ Organisation: Im Falle großer Veränderung stellt die Organisation des Rollouts eine erhebliche Herausforderung dar. Schulungen, Werkzeuge, Prozessdokumentation, etc. müssen zeitgleich bereit sein, viele Mitarbeiter (unter Umständen tausende) müssen in einem kurzen Zeitraum geschult werden damit die Neuerungen bei Inkrafttreten bekannt sind und die Inhalte nicht aufgrund von langen Zeiträumen zwischen Schulung und Anwendung vergessen werden. 	

Bild A-4: Steckbrief Einführungsansatz Big Bang

Name: Releases	Datum: 7.9.2019	Stand: 1.3
<p>Charakteristika: Durch die Nutzung von Releases wird die Einführung der Veränderungen auf mehrere, kleinere Pakete verteilt, die in regelmäßigen Abständen Inkrafttreten. Abstände und Umfang der Releases können frei gestaltet werden, beispielsweise für jährliche oder quartalsweise Releases. Für ein Release muss nur ein kleiner Teil der gesamten Veränderung im Detail ausgearbeitet sein. Jedoch besteht der Anspruch, dass ein Release später seine Gültigkeit behält und weitere Releases nur neue Inhalte hinzufügen. Entsprechend müssen die Schnittstellen der, auf unterschiedliche Releases aufgeteilten, Themen vorausgedacht werden.</p>		
<p>Vorteile des Ansatzes:</p> <ul style="list-style-type: none"> Entzerrung: Durch das Aufteilen der Veränderung auf unterschiedliche Releases kann der zeitliche Druck effektiv reduziert werden. Auch die Menge der Veränderung ist zu jedem einzelnen Release kleiner, so dass weniger Abwehrreaktionen zu erwarten sind (vgl. Wandel 1. Ordnung in Kapitel 2.4.1). Inkrafttreten: Der Zeitraum bis zur ersten sichtbaren Veränderung durch (MB)SE und somit auch bis zu den ersten positiven Effekten ist deutlich kürzer als bei einem Big Bang. Dringliche Maßnahmen können von wichtigen, aber weniger dringlichen Maßnahmen getrennt werden. 	<p>Nachteile des Ansatzes</p> <ul style="list-style-type: none"> Planung: Die notwendigen Planungsaufwände zur Sicherstellung der Kompatibilität sind hoch, im Rahmen der ersten Releases müssen alle wesentlichen Aspekte späterer Releases zumindest vorausgedacht werden um den Bedarf an nachträglichen Änderungen minimal zu halten. Kommunikation: Die Kommunikation zur Veränderung muss kontinuierlicher erfolgen und parallel mehrere Aufgaben erfüllen: Nachbereitung bzw. Verstetigung bereits vergangener Releases, Aufklärung über die nächsten Releases und Motivation für die gesamte Veränderung. Entsprechend sind die notwendigen Aufwände für die Kommunikation höher als beim Big Bang. 	
<p>Neutrale Aspekte des Ansatzes:</p> <ul style="list-style-type: none"> Transparenz: Der Status der Einführung und der Gültigkeit veränderter Prozesse, Werkzeuge, Organisationen, etc. ist für alle transparent darstellbar. Der aktuelle Status ist jedoch nicht so trivial verständlich wie beim Big Bang. Planungssicherheit: Einmal umgesetzte Veränderungen gelten zwar zuverlässig, dennoch können sich Prozesse und Ansprechpartner über mehrere Releases hinweg ändern. Die entsprechende Umlernphase ist daher länger als beim Big Bang. 		

Bild A-5: Steckbrief Einführungsansatz Releases

Name: Agile Optimierung	Datum: 7.9.2019	Stand: 1.3		
<p>Charakteristika: Die Agile Optimierung setzt auf eine kontinuierliche zyklische Entwicklung und Einführung der relevanten (MB)SE Inhalte. Das Vorgehen folgt den Grundlagen der Agilität und nutzt einen spezifischen Ansatz, etwa Scrum. Unterschiede zur Einführung mit Releases sind die deutlich geringere Zykluszeit und die Möglichkeit, bereits eingeführte (MB)SE Aspekte erneut zu verändern. Das Vorgehen der agilen Optimierung ist besonders stark von einer hierzu passenden Unternehmenskultur abhängig. Der Ansatz ist daher nur dann zu wählen, wenn entsprechende Vorgehensweisen zur Unternehmenskultur passen und in anderen Veränderungsprojekten bereits erfolgreich angewendet worden sind.</p>				
<table border="1"> <tr> <td> <p>Vorteile des Ansatzes:</p> <ul style="list-style-type: none"> Entzerrung: Durch das Aufteilen der Veränderung auf unterschiedliche Sprints kann der zeitliche Druck effektiv reduziert werden. Auch die Menge der Veränderung ist zu jedem einzelnen Zeitpunkt kleiner, so dass weniger Abwehrreaktionen aufgrund des Umfangs der Veränderung zu erwarten sind (vgl. Wandel 1. Ordnung in Kapitel 2.4.1). Inkrafttreten: Der Zeitraum bis zur ersten sichtbaren Veränderung durch (MB)SE und somit auch bis zu den ersten positiven Effekten ist minimal. Dringliche Maßnahmen können von wichtigen, aber weniger dringlichen Maßnahmen getrennt werden. Flexibilität: Veränderte Anforderungen und in der Praxis gemachte Erfahrungen können sofort in die Planung und Durchführung der nächsten Aufgaben einbezogen werden. Hierdurch ergibt sich die Möglichkeit schon während der Einführung kontinuierlich Änderungen durchzuführen und zu optimieren. </td> <td> <p>Nachteile des Ansatzes</p> <ul style="list-style-type: none"> Kommunikation: Die Kommunikation zur Veränderung muss kontinuierlicher erfolgen und mehrere Aufgaben erfüllen: Nachbereitung bzw. Verstärkung bereits vergangener Veränderung, Aufklärung über die nächsten Veränderungen und Motivation für die gesamte Veränderung. Zudem muss die Kommunikation auch Klarheit über Veränderungen an vergangenen Veränderungen schaffen. Der hiermit verbundene Aufwand ist deutlich höher als bei Big Bang und Releases. Organisation: Die agile Organisation setzt auf kleine Teams und kurze Wege. Wird im Zuge der Veränderungen die Mitarbeit von vielen Personen und Stakeholdern notwendig, erschwert dies das Aufrechterhalten der agilen Arbeitsweise. Notwendige Kapazitäten für das agile Arbeiten müssen sichergestellt werden. Planungssicherheit: Für die von der Veränderung Betroffenen kann das agile Vorgehen eine lange Phase der Unsicherheit und fehlender Stabilität erzeugen. Vorgaben, Ansprechpartner, etc. können sich potenziell in kurzen Zyklen und auch mehrfach ändern. Daher sind Starke Abwehrreaktionen zu erwarten. </td> </tr> </table>			<p>Vorteile des Ansatzes:</p> <ul style="list-style-type: none"> Entzerrung: Durch das Aufteilen der Veränderung auf unterschiedliche Sprints kann der zeitliche Druck effektiv reduziert werden. Auch die Menge der Veränderung ist zu jedem einzelnen Zeitpunkt kleiner, so dass weniger Abwehrreaktionen aufgrund des Umfangs der Veränderung zu erwarten sind (vgl. Wandel 1. Ordnung in Kapitel 2.4.1). Inkrafttreten: Der Zeitraum bis zur ersten sichtbaren Veränderung durch (MB)SE und somit auch bis zu den ersten positiven Effekten ist minimal. Dringliche Maßnahmen können von wichtigen, aber weniger dringlichen Maßnahmen getrennt werden. Flexibilität: Veränderte Anforderungen und in der Praxis gemachte Erfahrungen können sofort in die Planung und Durchführung der nächsten Aufgaben einbezogen werden. Hierdurch ergibt sich die Möglichkeit schon während der Einführung kontinuierlich Änderungen durchzuführen und zu optimieren. 	<p>Nachteile des Ansatzes</p> <ul style="list-style-type: none"> Kommunikation: Die Kommunikation zur Veränderung muss kontinuierlicher erfolgen und mehrere Aufgaben erfüllen: Nachbereitung bzw. Verstärkung bereits vergangener Veränderung, Aufklärung über die nächsten Veränderungen und Motivation für die gesamte Veränderung. Zudem muss die Kommunikation auch Klarheit über Veränderungen an vergangenen Veränderungen schaffen. Der hiermit verbundene Aufwand ist deutlich höher als bei Big Bang und Releases. Organisation: Die agile Organisation setzt auf kleine Teams und kurze Wege. Wird im Zuge der Veränderungen die Mitarbeit von vielen Personen und Stakeholdern notwendig, erschwert dies das Aufrechterhalten der agilen Arbeitsweise. Notwendige Kapazitäten für das agile Arbeiten müssen sichergestellt werden. Planungssicherheit: Für die von der Veränderung Betroffenen kann das agile Vorgehen eine lange Phase der Unsicherheit und fehlender Stabilität erzeugen. Vorgaben, Ansprechpartner, etc. können sich potenziell in kurzen Zyklen und auch mehrfach ändern. Daher sind Starke Abwehrreaktionen zu erwarten.
<p>Vorteile des Ansatzes:</p> <ul style="list-style-type: none"> Entzerrung: Durch das Aufteilen der Veränderung auf unterschiedliche Sprints kann der zeitliche Druck effektiv reduziert werden. Auch die Menge der Veränderung ist zu jedem einzelnen Zeitpunkt kleiner, so dass weniger Abwehrreaktionen aufgrund des Umfangs der Veränderung zu erwarten sind (vgl. Wandel 1. Ordnung in Kapitel 2.4.1). Inkrafttreten: Der Zeitraum bis zur ersten sichtbaren Veränderung durch (MB)SE und somit auch bis zu den ersten positiven Effekten ist minimal. Dringliche Maßnahmen können von wichtigen, aber weniger dringlichen Maßnahmen getrennt werden. Flexibilität: Veränderte Anforderungen und in der Praxis gemachte Erfahrungen können sofort in die Planung und Durchführung der nächsten Aufgaben einbezogen werden. Hierdurch ergibt sich die Möglichkeit schon während der Einführung kontinuierlich Änderungen durchzuführen und zu optimieren. 	<p>Nachteile des Ansatzes</p> <ul style="list-style-type: none"> Kommunikation: Die Kommunikation zur Veränderung muss kontinuierlicher erfolgen und mehrere Aufgaben erfüllen: Nachbereitung bzw. Verstärkung bereits vergangener Veränderung, Aufklärung über die nächsten Veränderungen und Motivation für die gesamte Veränderung. Zudem muss die Kommunikation auch Klarheit über Veränderungen an vergangenen Veränderungen schaffen. Der hiermit verbundene Aufwand ist deutlich höher als bei Big Bang und Releases. Organisation: Die agile Organisation setzt auf kleine Teams und kurze Wege. Wird im Zuge der Veränderungen die Mitarbeit von vielen Personen und Stakeholdern notwendig, erschwert dies das Aufrechterhalten der agilen Arbeitsweise. Notwendige Kapazitäten für das agile Arbeiten müssen sichergestellt werden. Planungssicherheit: Für die von der Veränderung Betroffenen kann das agile Vorgehen eine lange Phase der Unsicherheit und fehlender Stabilität erzeugen. Vorgaben, Ansprechpartner, etc. können sich potenziell in kurzen Zyklen und auch mehrfach ändern. Daher sind Starke Abwehrreaktionen zu erwarten. 			

Bild A-6: Steckbrief Einführungsansatz Agile Optimierung

A5 Arten von Maßnahmen

Erarbeiten von Inhalten

Ziel dieser Maßnahmen ist die inhaltliche bzw. fachliche Konzipierung, Ausgestaltung und bei Bedarf Implementierung, z. B. von neuen Prozessen, Methoden, Rollen oder Werkzeugen. Nicht Teil der Maßnahme ist der Rollout dieser Inhalte. Für jedes Handlungselement des Reifegradmodells ist zu prüfen, durch welche Maßnahmen eine Steigerung der Reife vom Ist- zum Soll-Zustand zu erreichen ist. Abhängig von der Größe des Deltas können einzelne oder mehrere Maßnahmen je Handlungselement notwendig sein. Sollten die notwendigen Voraussetzungen zur Durchführung einer Maßnahme nicht gegeben sein (z. B. aufgrund fehlender Kompetenz) gilt es, auch Maßnahmen zur Schaffung der notwendigen Voraussetzungen zu definieren. Für jede Maßnahme ist zu prüfen, wie die betroffenen Stakeholder eingebunden werden können, um den Widerstand gegen das Ergebnis der Maßnahme zu minimieren. Zudem können auch Maßnahmen zur Synchronisation mit parallelen Tätigkeiten notwendig sein. Solche Maßnahmen tragen z. B. aus SE resultierende Anforderungen an ein paralleles PLM-Programm weiter oder stellen sicher, dass im SE-Kontext entwickelte Ansätze konsistent mit an anderer Stelle definierten Rahmenbedingungen sind.

Kommunizieren

Im Rahmen des Change Managements ist die Kommunikation von besonderer Bedeutung. Kommunikationsmaßnahmen haben den Zweck, für die Stakeholder Transparenz über das Veränderungsprojekt und die kommenden Veränderungen zu schaffen. Kommunikationsmaßnahmen können motivieren, z. B. indem Erfolgsgeschichten verbreitet werden oder Sorgen und Ängste reduzieren, indem Transparenz geschaffen wird. Wichtig ist, dass die Kommunikation stakeholderorientiert, offiziell und zeitnah erfolgt. Persönliche Kommunikation ist einer unpersönlichen Kommunikation vorzuziehen [Lau19], [Krü09]. Allgemein können fünf Ziele der Changekommunikation unterschieden werden [Ebe13]:

- **Wissensvermittlung:** Transparenz schaffen durch das Vermitteln von Informationen und das Klären von Erwartungen zur richtigen Zeit.
- **Legitimation:** Bewusstsein, Motivation und Akzeptanz durch das Vermitteln persönlicher Bezüge schaffen. Bewerten und Einordnen von Tätigkeiten in den übergeordneten Kontext.
- **Partizipation:** Beteiligung der Stakeholder ermöglichen, um eine höhere Identifikation mit den Ergebnissen zu erzeugen.
- **Dialog:** Widerstände, Vorbehalte und Ängste reduzieren und Vertrauen fördern.
- **Veränderungsgeist aufbauen:** Gemeinschaftsgefühl und Veränderungsgeist aufbauen, z. B. durch das Kommunizieren und Vorleben von Werten.

In jedem Fall ist eine Maßnahme zur Erarbeitung des Kommunikationskonzepts notwendig. Dieses ist der Ausgangspunkt für den zielgerichteten Einsatz der eigentlichen Kommunikationsmaßnahmen. Jede Kommunikationsmaßnahme zielt auf eins oder mehrere der Kommunikationsziele ab. Die Gestaltung des Kommunikationskonzepts kann beispielsweise nach STOLZENBERG erfolgen [SH09].

Pilotieren

Erarbeitete Inhalte können durch Pilotprojekte vor dem Rollout erprobt werden. Ein Pilot kann dabei entweder einen tiefen fachlichen Fokus haben oder breit aufgestellt das Zusammenwirken verschiedener Aspekte berücksichtigen. Neben der Erprobung erarbeiteter Ergebnisse hat ein Pilot auch immer zum Ziel, eine kommunizierbare Erfolgsgeschichte zu liefern. Dabei ist unerheblich, ob dies schnell geschieht (Quick-Win) oder längerfristig (Leuchtturm). Ein Pilotprojekt kann mit dem operativen Geschäft verknüpft oder davon getrennt sein. In letzterem Fall wird der Pilot unabhängig von laufenden Projekten durchgeführt oder er begleitet ein Projekt als „Schattenprojekt“, indem parallel zum echten Projekt neue Ansätze, Methoden oder Werkzeuge getestet werden. Alternativ kann ein Pilot auch aktiv in ein operatives Projekt eingreifen. Dies erhöht das mit dem Piloten verbundene Risiko, jedoch erzeugt es bei Erfolg auch eine höhere Akzeptanz. Wichtig bei der Auswahl von Pilotprojekten ist es, dass zwei Fragen zufriedenstellend beantwortet werden können: Welchen erwartbaren Mehrwert bietet der Pilot für die SE-Einführung und welchen erwartbaren Mehrwert bietet SE für das Pilotprojekt? Kann eine der Fragen nicht zufriedenstellend beantwortet werden, sollte das entsprechende Pilotprojekt nicht durchgeführt werden. Es verschwendet entweder die Ressourcen des SE-Einführungsprojekts oder erzeugt ein hohes Risiko von schlechter Publicity, wenn SE im Projekt keinen Mehrwert liefert. Zur Durchführung von Pilotprojekten eignet sich das Vorgehen nach ALT (vgl. Kapitel 3.3.2.2). Demnach gehört auch die Bereitstellung der nötigen Schulungen und Werkzeuge zum Piloten, wobei beides konsistent zu parallellaufenden Maßnahmen des Typs „Inhalte erarbeiten“ sein muss.

Umsetzen

Umsetzungsmaßnahmen zielen auf das Inkrafttreten der Veränderung ab. Hierzu zählen die notwendigen Schulungen für die gesamte Organisation, das Veröffentlichen der notwendigen Dokumentation, das Einführen neuer Rollen und Aufbauorganisation, das verbindliche Einfordern eines neuen Prozesses, etc. Umsetzungsmaßnahmen müssen zwingend von Kommunikationsmaßnahmen flankiert und von Erarbeitungsmaßnahmen für Inhalte vorbereitet werden. Abhängig vom gewählten Einführungsvorgehen werden Umsetzungsmaßnahmen als letzte Maßnahmen durchgeführt (Big Bang) oder im Anschluss an die Erarbeitung bestimmter Inhalte (Releases, Agil). Nach der Durchführung einer Umsetzungsmaßnahme sollte der Reifegrad von mindestens einem Handlungselement gestiegen sein. Sind alle Ist-Reifegrade größer oder gleich den Zielreifegraden ist die SE-Einführung abgeschlossen.

A6 Operationalisierungskonzept

Tabelle A-8: Checkliste 1: Initialisierung

Frage	Erledigt?
Wurde ein Bedarf zur Veränderung im Sinne des SE identifiziert?	<input type="checkbox"/>
Welche konkreten Ziele für die Nutzung von SE wurden identifiziert?	<input type="checkbox"/>
Wurden die SE-Ambition und das SE-Leitbild definiert?	<input type="checkbox"/>
Wurden Vision und Leitbild kommuniziert?	<input type="checkbox"/>
Sind die Ziele intern und/oder extern getrieben? (z. B. über Normen, ...)	<input type="checkbox"/>
Wer wird voraussichtlich von Veränderungen betroffen sein?	<input type="checkbox"/>
Sind die Ziele konform zur Unternehmensstrategie?	<input type="checkbox"/>
Welche Auswirkungen wird die Umsetzung der Ziele in technischer, finanzieller, zeitlicher und personeller Hinsicht haben?	<input type="checkbox"/>
Ist eine Stakeholderanalyse durchgeführt worden?	<input type="checkbox"/>
Ist eine SWOT-Analyse durchgeführt worden?	<input type="checkbox"/>
Ist das Unterstützungs-/Durchsetzungspotential groß genug, um Erfolg mit dem Wandel haben zu können?	<input type="checkbox"/>
Ist die Change-Organisation aufgesetzt?	<input type="checkbox"/>
Ist (mindestens) ein Sponsor, vorzugsweise in der Geschäftsleitung, gefunden?	<input type="checkbox"/>
Ist ein Kontrollgremium definiert und mit Vertretern aller relevanten Bereiche besetzt? (Fachbereiche, IT, Marketing, Arbeitnehmervertretung, ...)	<input type="checkbox"/>
Ist das Change-Team definiert und besetzt?	<input type="checkbox"/>

Tabelle A-9: Checkliste 2: Planung

Frage	Erledigt?
Ist die Stakeholderanalyse aktuell und werden alle relevanten Stakeholder einbezogen?	<input type="checkbox"/>
Ist die Ausgangssituation des Unternehmens in den relevanten Handlungsfeldern bekannt bzw. identifiziert?	<input type="checkbox"/>
Ist die Zielsituation des Unternehmens in den relevanten Handlungsfeldern bekannt bzw. definiert?	<input type="checkbox"/>
Ergibt sich auf Basis der Ist- und Zielreifegrade Bedarf zur Aktualisierung des Leitbilds?	<input type="checkbox"/>
Welche internen/externen Rahmenbedingungen sind zu beachten?	<input type="checkbox"/>
Besteht ein angemessener Einführungsansatz?	<input type="checkbox"/>
Ist der Motivationsansatz passend zum Unterstützungs-/Durchsetzungspotential gewählt?	<input type="checkbox"/>
Welche fachlichen Maßnahmen sind geeignet, um vom Ist- zum Zielzustand zu gelangen?	<input type="checkbox"/>
Gibt es alternative Maßnahmen?	<input type="checkbox"/>
Wie unterscheiden sich diese hinsichtlich Kosten und Nutzen?	<input type="checkbox"/>
Welche Maßnahmen haben Priorität (Aufgrund von Abhängigkeiten untereinander, Relevanz für den Erfolg der Veränderung, ihrem Potential als „Quick-Win“ oder ihrer direkten Dringlichkeit)?	<input type="checkbox"/>
Gibt es geplante Maßnahmen, um erwartbaren betriebspolitischen Problemen entgegenzuwirken?	<input type="checkbox"/>
Gibt es geplante Maßnahmen zur Akzeptanzsicherung?	<input type="checkbox"/>
Ist bei den Maßnahmen die Einbindung aller relevanten Akteure sichergestellt? (Change-Team, Fachbereiche, IT, Betriebsrat, ...)	<input type="checkbox"/>
Gibt es einen abgestimmten Master Plan of Action und eine abgestimmte Roadmap?	<input type="checkbox"/>
Sind die Abhängigkeiten zwischen den Maßnahmen angemessen beachtet worden?	<input type="checkbox"/>
Sind die Ressourcen für die geplanten Maßnahmen verfügbar?	<input type="checkbox"/>
Ist die Erprobung zu entwickelnder Ansätze in Piloten geplant?	<input type="checkbox"/>
Was ist notwendig, um die Piloten erfolgreich durchzuführen? (Schulungen, Tools, Teams, Vorarbeiten, ...)	<input type="checkbox"/>
Ist die Change-Organisation noch richtig besetzt und aufgestellt? Wird jeder definierte Ansprechpartner auch eingebunden?	<input type="checkbox"/>

Tabelle A-10: Checkliste 3: Roadmap umsetzen

Frage	Erledigt?
Ist die Stakeholderanalyse aktuell und werden alle relevanten Stakeholder einbezogen?	<input type="checkbox"/>
Gibt es (mindestens) eine Maßnahme zur Erarbeitung des Kommunikations-/Informationskonzepts („Wer informiert was wann an wen?“)?	<input type="checkbox"/>
Ist für jede (für das aktuelle Release / den aktuellen Sprint) geplante Maßnahme ein geeignetes Projekt aufgesetzt?	<input type="checkbox"/>
Sind Fähigkeiten, Kapazitäten und Mittel zur Umsetzung in ausreichender Menge für jedes Projekt vorhanden?	<input type="checkbox"/>
Ist der Umgang mit Kapazitäten nach Abschluss eines (Teil-)Projekts geplant?	<input type="checkbox"/>
Zahlen die laufenden Aktivitäten Ziele und Leitbild ein?	<input type="checkbox"/>
Welche Schulungs- / und Trainingsmaßnahmen sind zur Vorbereitung der Projektarbeit erforderlich?	<input type="checkbox"/>
Welche Schulungs- / und Trainingsmaßnahmen sind zur Vorbereitung von Phase 4 notwendig? Reichen generische Schulungen (bspw. IN-COSE SE-Handbook) oder, versprechen unternehmensspezifische Schulungen größeren Nutzen?	<input type="checkbox"/>
Ist die Change-Organisation noch richtig besetzt und aufgestellt? Wird jeder definierte Partner auch eingebunden?	<input type="checkbox"/>
Konnten Maßnahmen und Piloten genutzt werden, um Mehrwerte zu schaffen und diese zu kommunizieren?	<input type="checkbox"/>
Welche Anreize für die Projektbeteiligten gibt es?	<input type="checkbox"/>
Sind der Master Plan of Action und die Umsetzungsroadmap aktuell?	<input type="checkbox"/>
Wie werden die Projektergebnisse dokumentiert?	<input type="checkbox"/>
Ist die zukünftige SE-Organisation geplant und abgestimmt?	<input type="checkbox"/>
Werden die Maßnahmen vom Kontrollgremium getrackt?	<input type="checkbox"/>
Werden die Pilotprojekte vom Kontrollgremium getrackt?	<input type="checkbox"/>
Wird ein kontinuierliches Controlling durchgeführt?	<input type="checkbox"/>

Tabelle A-11: Checkliste 4: Umsetzung und Verstetigung

Frage	Erledigt?
Sind der Master Plan of Action und die Umsetzungsroadmap aktuell?	<input type="checkbox"/>
Wird das Tracking durch das Kontrollgremium fortgeführt?	<input type="checkbox"/>
Sind die Ergebnisse der Maßnahmen und Projekte auf die relevanten Bereiche des Unternehmens ausgerollt worden?	<input type="checkbox"/>
Sind die Ziele des Wandels erreicht worden? Welche Korrekturen und Ergänzungen sind gegebenenfalls erforderlich? (Ziele, Vision, Leitbild)	<input type="checkbox"/>
Welche Konsequenzen für die Zukunft ergeben sich aus dem Wandlungsvorhaben?	<input type="checkbox"/>
Wie läuft die Beendigung des Vorhabens ab?	<input type="checkbox"/>
Ist die SE-Organisation operativ in Betrieb?	<input type="checkbox"/>
Ist sichergestellt (organisatorisch, personell, führungsbezogen), dass alle Teilbereiche die erreichten Ergebnisse beibehalten?	<input type="checkbox"/>
Ist die weitere Wandlungsfähigkeit des Unternehmens sichergestellt?	<input type="checkbox"/>
Ist die Zielerreichung in den Teilbereichen personell und organisatorisch geregelt?	<input type="checkbox"/>
Wird die Erreichung der Ziele auch nach Beendigung des Einführungsprojekts überwacht und gratifiziert?	<input type="checkbox"/>
Gibt es bereichsübergreifende Vorkehrungen für den Erfahrungsaustausch?	<input type="checkbox"/>
Welche weiteren Konsequenzen ergeben sich aus den Ergebnissen und Erfahrungen?	<input type="checkbox"/>

A7 Archetypische SE Aufbauorganisationen

Name: Dezentral Integrierte SE-Struktur	Datum: 4.4.2019	Stand: 1.2
	Basis-Archetyp: <input checked="" type="checkbox"/> Dezentral integriert <input type="checkbox"/> Zentr. Vorgaben u. Support <input type="checkbox"/> Zentrale Vorgaben <input type="checkbox"/> Zentral integriert	
Ausprägung SE Anwendung: Die SE Anwendung erfolgt vollständig dezentral. Alle operativen SE Aufgaben werden dementsprechend von Anwendern übernommen, die in ihrem jeweiligen Fachbereich verortet sind. SE Services werden nicht angeboten. Methoden- und Werkzeugkompetenzen müssen entsprechend in allen Bereichen, die SE Anwenden sollen, aufgebaut werden.		dezentral
Ausprägung SE Support: Der Support für SE Tätigkeiten erfolgt dezentral. Schulungen werden von den jeweiligen Anwenderbereichen selbst organisiert und extern oder mit internen Experten durchgeführt. Key User in den jeweiligen Organisationseinheiten unterstützen die verbleibenden Anwender im Falle von Fragen zur Methoden- oder Werkzeuganwendung. Die Bereitstellung der notwendigen IT erfolgt aus den unterschiedlichen Engineering IT Abteilungen der jeweiligen Bereiche.		dezentral
Ausprägung SE Weiterentwicklung: Eine zentrale stelle zur SE Weiterentwicklung ist nicht vorgesehen. Nötige Veränderungen werden in den Bereichen über die Key User erarbeitet und erprobt oder ein dezentral organisiertes KVP Board versucht (MB)SE gemäß der Rückmeldungen der Anwender und Key User Weiterzuentwickeln.		dezentral
Vorteile der Struktur: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Einfach umzusetzen, da keine neuen zentralen Organisationseinheiten notwendig sind ▪ Key User sind nah an den Bedarfen der Anwender und können diese mit ihrer eigenen, bereichsspezifischen Kompetenz, unterstützen 	Nachteile der Struktur: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Keine zentrale Kontrolle über die SE Anwendung ▪ Synergien und Bereichsübergreifende Kommunikation können nicht sichergestellt werden ▪ Hohes Risiko einer „Zerfaserung“: SE entwickelt sich in den Bereichen unterschiedlich weiter ▪ Risiko einer ausbleibenden proaktiven Weiterentwicklung ▪ Hohes Risiko nicht durchgängiger Infrastruktur 	
Skizze <p>Das Organigramm zeigt die hierarchische Struktur. Oben befindet sich das Management. Darunter sind zwei Bereiche dargestellt. Jeder Bereich hat eine Bereichsleitung (Bereitschaft), SE Anwender und SE Key User. Die SE Anwender sind in Abteilungen/Gruppen unterteilt. Pfeile verdeutlichen die Kommunikationswege zwischen den Ebenen.</p>		

Bild A-7: Steckbrief Archetyp I: Dezentral integrierte SE-Struktur

Name: Anwendung mit zentralen Vorgaben	Datum: 4.4.2019	Stand: 1.2
	Basis-Archetyp: <input type="checkbox"/> Dezentral integriert <input type="checkbox"/> Zentr. Vorgaben u. Support <input checked="" type="checkbox"/> Zentrale Vorgaben <input type="checkbox"/> Zentral integriert	
Ausprägung SE Anwendung: Die SE Anwendung erfolgt vollständig dezentral. Alle operativen SE Aufgaben werden dementsprechend von Anwendern übernommen, die in ihrem jeweiligen Fachbereich verortet sind. SE Services werden nicht angeboten. Methoden- und Werkzeugkompetenzen müssen entsprechend in allen Bereichen, die SE Anwenden sollen, aufgebaut werden.		dezentral
Ausprägung SE Support: Der Support für SE Tätigkeiten erfolgt dezentral. Schulungen werden von den jeweiligen Anwenderbereichen selbst organisiert und extern oder mit internen Experten durchgeführt. Key User in den jeweiligen Organisationseinheiten unterstützen die verbleibenden Anwender im Falle von Fragen von Methoden- oder Werkzeuganwendung. Die Bereitstellung der notwendigen IT erfolgt aus den unterschiedlichen Engineering IT Abteilungen der jeweiligen Bereiche.		dezentral
Ausprägung SE Weiterentwicklung: Ein SE Champion wurde Zentral als Stabsstelle installiert. Er entwickelt SE proaktiv, auf Basis von Veränderungen am Markt und reaktiv, auf Basis der Rückmeldungen aus der Anwendung und dem Support weiter. Dabei stellt er sicher, dass die Ansätze der SE Services auch über Bereichsgrenzen hinweg kompatibel bleiben und ist Verantwortlich für das „Train-the-Trainer“-Konzept.		zentral
Vorteile der Struktur: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Einfach umzusetzen ▪ Key User sind nah an den Bedarfen der Anwender und können diese mit ihrer eigenen, bereichsspezifischen Kompetenz, unterstützen ▪ Der SE Champion sichert die Unternehmensweite Kompatibilität der genutzten Ansätze ▪ Übergreifende Wiederverwendung u. Synergieeffekte sind möglich 		Nachteile der Struktur: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Begrenzte Kontrolle über die dezentrale Anwendung, etwa wenn Key User Vorgaben unterschiedlich interpretieren ▪ Risiko einer „Zerfaserung“: SE entwickelt sich in den Bereichen unterschiedlich weiter ▪ Hohes Risiko nicht durchgängiger Infrastruktur ▪ Risiko für Akzeptanzprobleme bei zentral getriebenen Veränderungen
Skizze <p>Das Organigramm zeigt die hierarchische Struktur der SE Anwendung mit zentralen Vorgaben. An der Spitze steht das Management, unter dem der SE Champion (grüner Balken) fungiert. Darunter sind die Bereichsleitung (rosa Balken) und die SE Anwender (rosa Balken) positioniert. Die SE Key User (grüne Pfeile) sind in den Abteilungen/Gruppen (grüne Pfeile) verortet. Die Bereiche sind durch rote Linien markiert.</p>		

Bild A-8: Steckbrief Archetyp II: Anwendung mit zentralen Vorgaben

Name: Anwendung mit zentralen Vorgaben und Support		Datum: 4.4.2019	Stand: 1.2
Basis-Archetyp:		<input type="checkbox"/> Dezentral integriert	<input checked="" type="checkbox"/> Zentr. Vorgaben u. Support
		<input type="checkbox"/> Zentrale Vorgaben	<input type="checkbox"/> Zentral integriert
Ausprägung SE Anwendung: Die SE Anwendung erfolgt vollständig dezentral. Alle operativen SE- Aufgaben werden dementsprechend von Anwendern übernommen, die in ihrem jeweiligen Fachbereich verortet sind. SE-Services werden nicht angeboten. Methoden- und Werkzeugkompetenzen müssen in allen Bereichen, die SE Anwenden sollen, aufgebaut werden.			dezentral
Ausprägung SE Support: Der Support für SE Tätigkeiten erfolgt zentralisiert. Eine zu diesem Zweck eingerichtete Organisationseinheit steht bei prozess-, methoden-, und toolseitigen Fragen oder Problemen zur Verfügung. Die notwendige IT-Infrastruktur wird aus einer zentralen IT Einheit heraus bereitgestellt. Auch die Durchführung von Schulungen erfolgt über die beiden Organisationseinheiten.			zentral
Ausprägung SE Weiterentwicklung: Ein SE Champion wurde Zentral als Stabsstelle installiert. Er entwickelt SE proaktiv, auf Basis von Veränderungen am Markt und reaktiv, auf Basis der Rückmeldungen aus der Anwendung und dem Support, weiter. Dabei stellt er sicher, dass die Ansätze der SE-Services auch über Bereichsgrenzen hinweg kompatibel bleiben und ist Verantwortlich für das „Train-the-Trainer“ Konzept.			zentral
Vorteile der Struktur: <ul style="list-style-type: none"> Der SE Champion sichert die Unternehmensweite Kompatibilität der genutzten Ansätze Support und Champion bilden eine zentrale Anlaufstelle und könne Bedarf für globale Änderungen schnell identifizieren Übergreifende Wiederverwendung u. Synergieeffekte werden stark unterstützt Der zentrale Support stellt ein einheitliches Verständnis aller Anwender sicher 		Nachteile der Struktur: <ul style="list-style-type: none"> Support Organisation muss aufgebaut werden Einrichtung einer zentralen IT widerspricht den häufig anzutreffenden dezentralen Engineering IT Abteilungen Höhere Abstimmungsaufwände für Support u. Training damit alle Bereiche zufrieden sind Risiko für Akzeptanzprobleme bei zentral getriebenen Veränderungen 	
Skizze			

Bild A-9: Steckbrief Archetyp III: Anwendung mit zentralen Vorgaben und Support

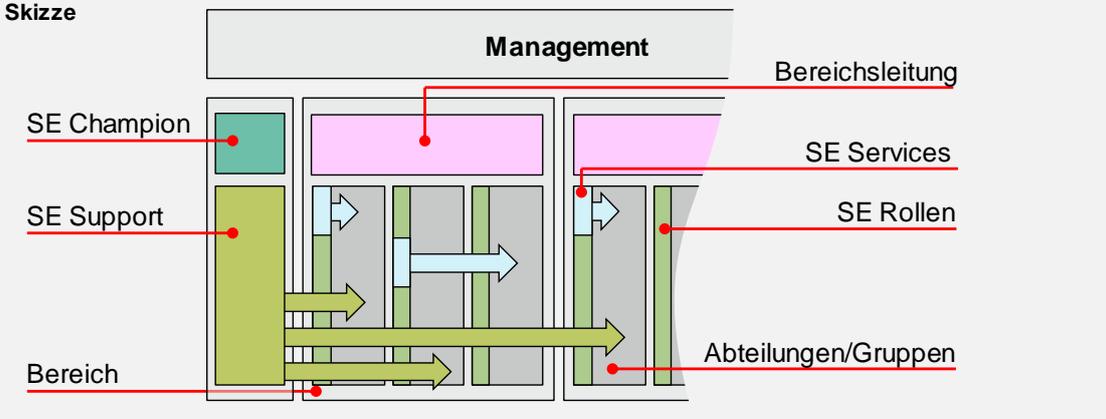
Name: Zentrale Integration mit teilzentralisiertem SE Service	Datum: 5.4.2019	Stand: 1.2
	Basis-Archetyp: <input type="checkbox"/> Dezentral integriert <input type="checkbox"/> Zentr. Vorgaben u. Support <input type="checkbox"/> Zentrale Vorgaben <input checked="" type="checkbox"/> Zentral integriert	
Ausprägung SE Anwendung: Die Anwendung des SE erfolgt teilzentralisiert: SE Service Aufgaben werden von dezentral in den Bereichen verorteten Mitarbeitern übernommen. Hierfür werden diese für 35% ihrer Arbeitszeit von ihrer regulären Aufgabe freigestellt um SE Service Tätigkeiten wie Moderation, Modellierung o.ä. zu übernehmen. Die Aus- und Weiterbildung sowie die fachliche Steuerung der entsprechenden Mitarbeiter erfolgt zentralisiert aus der Organisationseinheit SE Support. Zusätzliche operative Aufgaben werden in den einzelnen Organisationseinheiten der Bereichen übernommen.		
Ausprägung SE Support: Der Support für SE Tätigkeiten erfolgt zentralisiert. Eine zu diesem Zweck eingerichtete Organisationseinheit steht bei prozess-, methoden-, und toolseitigen Fragen oder Problemen zur Verfügung. Die notwendige IT Infrastruktur wird aus einer zentralen IT Einheit heraus bereitgestellt. Auch die Durchführung von Schulungen erfolgt über die beiden Organisationseinheiten.		
Ausprägung SE Weiterentwicklung: Ein SE Champion wurde Zentral als Stabsstelle installiert. Er entwickelt SE proaktiv, auf Basis von Veränderungen am Markt und reaktiv, auf Basis der Rückmeldungen aus der Anwendung und dem Support weiter. Dabei stellt er sicher, dass die Ansätze der SE Services auch über Bereichsgrenzen hinweg kompatibel bleiben.		
Vorteile der Struktur: <ul style="list-style-type: none"> SE Champion sichert Unternehmensweit kompatible Ansätze Bereichsübergreifende Wiederverwendung und Synergien werden durch übergreifend einheitliche Vorgehensweisen und Werkzeuge gefördert Service und Support sichern Qualität der Anwendung Teilzentrale Services verstehen die Anwenderseite gut 		Nachteile der Struktur: <ul style="list-style-type: none"> Zentrale Support Organisation muss aufgebaut und befähigt werden Interessens- und Terminkonflikte bei SE-Services möglich Hohe Abstimmungsaufwände bis sich alle Organisationsbereiche abgeholt fühlen
Skizze 		

Bild A-11: Steckbrief Mix aus Archetypen III und IV: Zentrale Integration mit teilzentralisiertem SE-Service

*Anlage in der Dissertation:
Zitation von studentischen Arbeiten*

Erklärung zur Zitation von Inhalten aus studentischen Arbeiten

In Ergänzung zu meinem Antrag auf Zulassung zur Promotion in der Fakultät für Maschinenbau der Universität Paderborn erkläre ich gemäß §11 der Promotionsordnung und unter Beachtung der Regelung zur Zitation studentischer Arbeiten:

Die von mir vorgelegte Dissertation habe ich selbstständig verfasst, **und ich habe keine anderen** als die dort angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt. Es sind **Inhalte / keine Inhalte** studentischen Ursprungs (studentische Arbeiten) in dieser Dissertation enthalten.

Ich habe die verwendeten Arbeiten entsprechend der Regelung „Zitation aus studentischen Arbeiten in Dissertationen“ zitiert.

Ort, Datum:

Unterschrift

Zuletzt erschienene Bände der Verlagsschriftenreihe des Heinz Nixdorf Instituts

- Bd. 374 GAUSEMEIER, J. (Hrsg.): Vorausschau und Technologieplanung. 13. Symposium für Vorausschau und Technologieplanung, Heinz Nixdorf Institut, 23. und 24. November 2017, Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften, Berlin, Verlagsschriftenreihe des Heinz Nixdorf Instituts, Band 374, Paderborn, 2017 – ISBN 978-3-942647-93-9
- Bd. 375 WESTERMANN, T.: Systematik zur Reifegradmodell-basierten Planung von Cyber-Physical Systems des Maschinen- und Anlagenbaus. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, Verlagsschriftenreihe des Heinz Nixdorf Instituts, Band 375, Paderborn, 2017 – ISBN 978-3-942647-94-6
- Bd. 376 JÜRGENHAKE, C.: Systematik für eine prototypenbasierte Entwicklung mechatronischer Systeme in der Technologie MID (Molded Interconnect Devices). Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, Verlagsschriftenreihe des Heinz Nixdorf Instituts, Band 376, Paderborn, 2017 – ISBN 978-3-942647-95-3
- Bd. 377 WEBER, J.: Modellbasierte Werkstück- und Werkzeugpositionierung zur Reduzierung der Zykluszeit in NC-Programmen. Dissertation, Fakultät für Wirtschaftswissenschaften, Universität Paderborn, Verlagsschriftenreihe des Heinz Nixdorf Instituts, Band 377, Paderborn, 2018 – ISBN 978-3-942647-96-0
- Bd. 378 OESTERSÖTEBIER, F.: Modellbasierter Entwurf intelligenter mechatronischer Systeme mithilfe semantischer Technologien. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, Verlagsschriftenreihe des Heinz Nixdorf Instituts, Band 378, Paderborn, 2018 – ISBN 978-3-942647-97-7
- Bd. 379 ABELDGAWAD, K.: A System-Level Design Framework for Networked Driving Simulation. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, Verlagsschriftenreihe des Heinz Nixdorf Instituts, Band 379, Paderborn, 2018 – ISBN 978-3-942647-98-4
- Bd. 380 JUNG, D.: Local Strategies for Swarm Formations on a Grid. Dissertation, Fakultät für Elektrotechnik, Informatik und Mathematik, Universität Paderborn, Verlagsschriftenreihe des Heinz Nixdorf Instituts, Band 380, Paderborn, 2018 – ISBN 978-3-942647-99-1
- Bd. 381 PLACZEK, M.: Systematik zur geschäftsmodellorientierten Technologiefrühaufklärung. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, Verlagsschriftenreihe des Heinz Nixdorf Instituts, Band 381, Paderborn, 2018 – ISBN 978-3-947647-00-2
- Bd. 382 KÖCHLING, D.: Systematik zur integrativen Planung des Verhaltens selbstoptimierender Produktionssysteme. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, Verlagsschriftenreihe des Heinz Nixdorf Instituts, Band 382, Paderborn, 2018 – ISBN 978-3-947647-01-9
- Bd. 383 KAGE, M.: Systematik zur Positionierung in technologieinduzierten Wertschöpfungsnetzwerken. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, Verlagsschriftenreihe des Heinz Nixdorf Instituts, Band 383, Paderborn, 2018 – ISBN 978-3-947647-02-6
- Bd. 384 DÜLME, C.: Systematik zur zukunftsorientierten Konsolidierung variantenreicher Produktprogramme. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, Verlagsschriftenreihe des Heinz Nixdorf Instituts, Band 384, Paderborn, 2018 – ISBN 978-3-947647-03-3
- Bd. 385 GAUSEMEIER, J. (Hrsg.): Vorausschau und Technologieplanung. 14. Symposium für Vorausschau und Technologieplanung, Heinz Nixdorf Institut, 8. und 9. November 2018, Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften, Berlin, Verlagsschriftenreihe des Heinz Nixdorf Instituts, Band 385, Paderborn, 2018 – ISBN 978-3-947647-04-0
- Bd. 386 SCHNEIDER, M.: Spezifikationstechnik zur Beschreibung und Analyse von Wertschöpfungssystemen. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, Verlagsschriftenreihe des Heinz Nixdorf Instituts, Band 386, Paderborn, 2018 – ISBN 978-3-947647-05-7

Zuletzt erschienene Bände der Verlagsschriftenreihe des Heinz Nixdorf Instituts

- Bd. 387 ECHTERHOFF, B.: Methodik zur Einführung innovativer Geschäftsmodelle in etablierten Unternehmen. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, Verlagsschriftenreihe des Heinz Nixdorf Instituts, Band 387, Paderborn, 2018 – ISBN 978-3-947647-06-4
- Bd. 388 KRUSE, D.: Teilautomatisierte Parameteridentifikation für die Validierung von Dynamikmodellen im modellbasierten Entwurf mechatronischer Systeme. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, Verlagsschriftenreihe des Heinz Nixdorf Instituts, Band 388, Paderborn, 2019 – ISBN 978-3-947647-07-1
- Bd. 389 MITTAG, T.: Systematik zur Gestaltung der Wertschöpfung für digitalisierte hybride Marktleistungen. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, Verlagsschriftenreihe des Heinz Nixdorf Instituts, Band 389, Paderborn, 2019 – ISBN 978-3-947647-08-8
- Bd. 390 GAUSEMEIER, J. (Hrsg.): Vorausschau und Technologieplanung. 15. Symposium für Vorausschau und Technologieplanung, Heinz Nixdorf Institut, 21. und 22. November 2019, Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften, Berlin, Verlagsschriftenreihe des Heinz Nixdorf Instituts, Band 390, Paderborn, 2019 – ISBN 978-3-947647-09-5
- Bd. 391 SCHIERBAUM, A.: Systematik zur Ableitung bedarfsgerechter Systems Engineering Leitfäden im Maschinenbau. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, Verlagsschriftenreihe des Heinz Nixdorf Instituts, Band 391, Paderborn, 2019 – ISBN 978-3-947647-10-1
- Bd. 392 PAI, A.: Computationally Efficient Modelling and Precision Position and Force Control of SMA Actuators. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, Verlagsschriftenreihe des Heinz Nixdorf Instituts, Band 392, Paderborn, 2019 – ISBN 978-3-947647-11-8
- Bd. 393 ECHTERFELD, J.: Systematik zur Digitalisierung von Produktprogrammen. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, Verlagsschriftenreihe des Heinz Nixdorf Instituts, Band 393, Paderborn, 2020 – ISBN 978-3-947647-12-5
- Bd. 394 LOCHBICHLER, M.: Systematische Wahl einer Modellierungstiefe im Entwurfsprozess mechatronischer Systeme. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, Verlagsschriftenreihe des Heinz Nixdorf Instituts, Band 394, Paderborn, 2020 – ISBN 978-3-947647-13-2
- Bd. 395 LUKEI, M.: Systematik zur integrativen Entwicklung von mechatronischen Produkten und deren Prüfmittel. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, Verlagsschriftenreihe des Heinz Nixdorf Instituts, Band 395, Paderborn, 2020 – ISBN 978-3-947647-14-9
- Bd. 396 KOHLSTEDT, A.: Modellbasierte Synthese einer hybriden Kraft-/Positionsregelung für einen Fahrzeugachsprüfstand mit hydraulischem Hexapod. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, Verlagsschriftenreihe des Heinz Nixdorf Instituts, Band 396, Paderborn, 2021 – ISBN 978-3-947647-15-6
- Bd. 397 DREWEL, M.: Systematik zum Einstieg in die Plattformökonomie. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, Verlagsschriftenreihe des Heinz Nixdorf Instituts, Band 397, Paderborn, 2021 – ISBN 978-3-947647-16-3
- Bd. 398 FRANK, M.: Systematik zur Planung des organisationalen Wandels zum Smart Service-Anbieter. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, Verlagsschriftenreihe des Heinz Nixdorf Instituts, Band 398, Paderborn, 2021 – ISBN 978-3-947647-17-0
- Bd. 399 KOLDEWEY, C.: Systematik zur Entwicklung von Smart Service-Strategien im produzierenden Gewerbe. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, Verlagsschriftenreihe des Heinz Nixdorf Instituts, Band 399, Paderborn, 2021 – ISBN 978-3-947647-18-7
- Bd. 400 GAUSEMEIER, J. (Hrsg.): Vorausschau und Technologieplanung. 16. Symposium für Vorausschau und Technologieplanung, Heinz Nixdorf Institut, 2. und 3. Dezember 2021, Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften, Berlin, Verlagsschriftenreihe des Heinz Nixdorf Instituts, Band 400, Paderborn, 2021 – ISBN 978-3-947647-19-4

Das Heinz Nixdorf Institut – Interdisziplinäres Forschungszentrum für Informatik und Technik

Das Heinz Nixdorf Institut ist ein Forschungszentrum der Universität Paderborn. Es entstand 1987 aus der Initiative und mit Förderung von Heinz Nixdorf. Damit wollte er Ingenieurwissenschaften und Informatik zusammenführen, um wesentliche Impulse für neue Produkte und Dienstleistungen zu erzeugen. Dies schließt auch die Wechselwirkungen mit dem gesellschaftlichen Umfeld ein.

Die Forschungsarbeit orientiert sich an dem Programm „Dynamik, Mobilität, Vernetzung: Eine neue Schule des Entwurfs der technischen Systeme von morgen“. In der Lehre engagiert sich das Heinz Nixdorf Institut in Studiengängen der Informatik, der Ingenieurwissenschaften und der Wirtschaftswissenschaften.

Heute wirken am Heinz Nixdorf Institut acht Professoren mit insgesamt 130 Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern. Pro Jahr promovieren hier etwa 15 Nachwuchswissenschaftlerinnen und Nachwuchswissenschaftler.

Heinz Nixdorf Institute – Interdisciplinary Research Centre for Computer Science and Technology

The Heinz Nixdorf Institute is a research centre within the Paderborn University. It was founded in 1987 initiated and supported by Heinz Nixdorf. By doing so he wanted to create a symbiosis of computer science and engineering in order to provide critical impetus for new products and services. This includes interactions with the social environment.

Our research is aligned with the program “Dynamics, Mobility, Integration: Enroute to the technical systems of tomorrow.” In training and education the Heinz Nixdorf Institute is involved in many programs of study at the Paderborn University. The superior goal in education and training is to communicate competencies that are critical in tomorrows economy.

Today eight Professors and 130 researchers work at the Heinz Nixdorf Institute. Per year approximately 15 young researchers receive a doctorate.



Die steigende Komplexität technischer Systeme führt zu wachsenden Herausforderungen im Rahmen der Produktentwicklung. In der Industrie werden Systems Engineering (SE) und Model-Based Systems Engineering (MBSE) als vielversprechende Entwicklungsansätze der Zukunft gesehen. Trotz zum Teil großer Bemühungen kämpfen Industrieunternehmen bei der Einführung beider Ansätze jedoch mit vielfältigen Herausforderungen, welche sowohl aus der fachlichen Komplexität als auch aus den weitreichenden Veränderungen durch die Einführung resultieren.

Zur Einführung von Systems Engineering und Model-Based Systems Engineering wird daher ein Rahmenwerk vorgestellt. Grundlage bilden ein Erklärungsmodell für die Produktentwicklung sowie mögliche Ziele einer Einführung von SE und MBSE. Kern des Rahmenwerks ist das Operationalisierungskonzept, welches ein Vorgehen zur Einführung bereitstellt. Das Rahmenwerk umfasst zudem Hilfsmittel, welche die Durchführung der einzelnen Schritte des Operationalisierungskonzepts unterstützen. Besonders hervorzuheben ist das Reifegradmodell zur Bestimmung von Ist- und Zielsituation.

Die Anwendung des Rahmenwerks erfolgt anhand des konstruierten Beispielunternehmens Conwhirl. An diesem Beispiel wird die Nutzung des Operationalisierungskonzepts mit allen bereitgestellten Hilfsmitteln dargestellt.