

MASTERARBEIT

NUTZENPOTENZIAL VON MODELLBASIERTEM SYSTEMS ENGINEERING IN DER INDUSTRIELLEN PRODUKTENTWICKLUNG

Eine Analyse während der Einführung von modellbasiertem Systems Engineering
in Industrieunternehmen

ausgeführt am



Postgradualer Masterlehrgang
Systems Engineering Leadership

Von: Bernd Walser

Personenkennzeichen: 1730031009

Heerbrugg, am 01. Juni 2019



Unterschrift

EHRENWÖRTLICHE ERKLÄRUNG

Ich erkläre ehrenwörtlich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst, andere als die angegebenen Quellen nicht benützt und die benutzten Quellen wörtlich zitiert sowie inhaltlich entnommene Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'B. W. K.', is written above a horizontal dotted line.

Unterschrift

DANKSAGUNG

Ich möchte mich ganz besonders bei meiner Frau Nadia und meinen vier Kindern Miro, Shana, Yara und Lian für ihre Unterstützung und das Verständnis bedanken, dass ich während der Zeit des Verfassens dieser Arbeit mehr Zeit am Computer, beim Lesen von Literatur und beim Auswerten von Interviews verbracht habe, als mit ihnen.

Ebenfalls bedanken möchte ich mich bei Tim Weilkiens, meinem Betreuer, für seine Tipps, Hinweise und Inspiration zur Erstellung dieser Arbeit.

Nicht zuletzt gilt mein Dank meinem Vorgesetzten Urs Broger, der mich immer unterstützt hat, sowie meinen Kollegen in der Firma für die spannenden Diskussionen, die mich immer wieder motiviert und mir wichtige Hinweise geliefert haben.

KURZFASSUNG

Die Entwicklung von cybertronischen Produkten hat in den letzten Jahren und Jahrzehnten enorme Fortschritte gemacht. Die Anteile an Software und die Vernetzung der Komponenten und Produkte hat stetig zugenommen und wird in Zukunft noch weiter zunehmen. Technologien wie Internet of Things oder auch künstliche Intelligenz werden verstärkt Einzug in die Produktentwicklung halten und die Komplexität und Vernetzung werden stetig zunehmen.

Modell-Based Systems Engineering könnte ein Ansatz sein, um diese Herausforderungen anzugehen und zu meistern. Wenn sich eine Firma dazu entscheidet, Model-Based Systems Engineering einzuführen, dann muss die Einführung gut geplant und koordiniert sein. Das Aufzeigen des Nutzenpotenzials ist ein wesentlicher Faktor, damit das Management überzeugt werden kann und somit die Einführungsinitiative unterstützt.

Es stellt sich die Frage, ob bei der Einführung und der Anwendung von Model-Based Systems Engineering der Nutzen sichtbar gemacht werden kann. Der Literaturreview zeigt, dass dieser Nutzen in unterschiedlichen Bereichen wie Zusammenarbeit unter den Mitarbeitern und Mitarbeiterinnen, im Entwicklungsprozess oder durch eine erfolgreiche Produkteinführung sichtbar gemacht werden kann, aber eine genaue Messung nicht einfach erreichbar ist.

Basierend auf den theoretischen Erkenntnissen wird ein erstes Nutzenmodell erstellt, welches die Basis für die empirischen Untersuchungen legt. Mittels der Durchführung eines World Cafés werden Erkenntnisse bezogen auf den Nutzen von modellbasiertem Systems Engineering und Hindernisse bei der Einführung gewonnen. Interviews mit Experten und Expertinnen haben diese Einsichten weiter detailliert. Es werden Zusammenhänge zwischen dem Bedarf an Systems Engineering, den Voraussetzungen für eine Einführung, den Widerständen bei der Umsetzung und dem sichtbaren Nutzen abgeleitet und dargestellt.

Das Ergebnis dieser Arbeit ist ein Nutzenmodell von modellbasiertem Systems Engineering im Kontext der Einführung in einem Industrieunternehmen. Abgeleitet vom Nutzenmodell wurden Hypothesen aufgestellt und konkrete Handlungsempfehlungen für die Praxis formuliert.

ABSTRACT

During the last years and decades, the development of cybertronic products has gained enormous progress. The portion of software and the interconnection of components and products is steadily increasing and will further increase in future. New technologies like Internet of Things or Artificial Intelligence have entered product development and complexity and interconnectivity will further grow.

Model-based systems engineering seems to be a valid approach to master these challenges. If a company decides to introduce model-based systems engineering, they must plan and coordinate the deployment accurately. Pointing out the potential benefits is a driving factor to convince the management and other stakeholder to support the initiative of introducing model-based systems engineering.

The question how the benefits and the progress during the introduction phase can be visualized will arise soon. The literature review points out that the benefit is visible in different areas like employee cooperation, development process or successful product introduction, but an accurate measurement of hard facts seems to be difficult.

Based on the theoretical insights a first draft of a benefit-model is derived, which acts as a base for the empirical investigations. The execution of a World Café workshop leads to first knowledge and insights into the expected benefits and obstacles during the introduction phase of model-based Systems Engineering. Interviews with experts extend these insights further. Relations between need for systems engineering, prerequisites for the introduction, obstacles and resistance during the implementation and the visible benefits are derived and presented.

The result of this work is a benefit-model for model-based systems engineering in the context of the introduction in an industrial company. Hypotheses and recommendations for the practical application are derived from this model.

INHALTSVERZEICHNIS

1	EINLEITUNG	1
1.1	Ausgangssituation und Motivation	1
1.2	Problemstellung	3
1.3	Zielsetzung dieser Arbeit	4
1.4	Forschungsfrage	4
1.5	Methodisches Vorgehen	5
1.6	Aufbau der Arbeit	6
2	THEORETISCHE GRUNDLAGEN DES SYSTEMS ENGINEERINGS	9
2.1	Systems Engineering	9
2.2	Modellbasiertes Systems Engineering	15
2.2.1	Methoden	16
2.2.2	Modellierungssprachen	20
2.2.3	Softwarewerkzeug	22
2.3	Einführungskonzepte	23
2.4	Nutzenpotenzial aus der Standardliteratur	25
3	DEFINITION VON NUTZEN IN DER PRODUKTENTWICKLUNG	27
4	NUTZEN VON MODELLBASIERTEM SYSTEMS ENGINEERING	31
4.1	Methodisches Vorgehen und Identifikation der relevanten Literatur	31
4.2	Empfehlungen für die Einführung	32
4.3	Ansätze für eine Klassifizierung des Nutzens	34
4.4	Literaturreview zum Nutzen von modellbasiertem Systems Engineering	36
4.4.1	Methoden und Prozesse in der Systementwicklung mit Bezug zu MBSE	36
4.4.2	Qualität des Systemmodells	37
4.4.3	Nutzen des Modells zur Verbesserung der Zusammenarbeit	38
4.4.4	Erfolgreiche Produkte	39
4.5	Nutzen in angrenzenden Themen oder Disziplinen	41
4.5.1	Nutzen von Projektmanagement	41
4.5.2	Nutzen von Produkt Lifecycle Management	44
4.6	Reflexion des Nutzens	47

5	THEORETISCHES NUTZENMODELL VON MODELLBASIERTEM SYSTEMS ENGINEERING	49
6	THEORIE DER EMPIRISCHEN FORSCHUNG	54
6.1	Quantitative Forschung	54
6.2	Qualitative Forschung	54
6.3	Mixed-Methods Forschung	54
7	FORSCHUNGSDESIGN UND -METHODE	56
7.1	Auswahl der Methode	56
7.2	Forschungsprozess	57
7.3	Betrachtungsfeld der Untersuchungen	58
7.4	World Café zur Evaluierung der Erwartungen an den Nutzen von modellbasiertem Systems Engineering	59
7.4.1	Motivation zur Verwendung des World Cafés	59
7.4.2	Die Methode World Café	60
7.4.3	Durchführung des World Cafés	62
7.4.4	Beschreibung der Auswertemethode	64
7.5	Experteninterviews	64
7.5.1	Erhebungsmethode	64
7.5.2	Erstellung des Interviewleitfadens	65
7.5.3	Stichprobe	68
7.5.4	Beschreibung der Auswertemethode	72
8	DARSTELLUNG DER UNTERSUCHUNGSERGEBNISSE	75
8.1	Auswertung des World Cafés	75
8.1.1	Erwarteter Nutzen von MBSE	75
8.1.2	Hindernisse, damit MBSE Nutzen entfalten kann	76
8.1.3	Messbarer Nutzen von MBSE	78
8.2	Auswertung der Experteninterviews	80
8.2.1	Unterstützung und Zusicherungen	81
8.2.2	Voraussetzungen und Begleitmassnahmen	82
8.2.3	Widerstände	84
8.2.4	Expertenwissen zur Anwendung von MBSE	85
8.2.5	Nutzen von SE und MBSE	86

8.2.6	Sichtbarkeit des Nutzens	89
8.2.7	Einfluss auf die Prozesse und die Organisation	91
8.3	Reflexion und Limitation der Forschungsergebnisse	92
9	BILDUNG EINES NUTZENMODELLS FÜR MODELLBASIERTES SYSTEMS ENGINEERING	94
9.1	Unterstützung und Zusicherungen	95
9.2	Voraussetzungen und Begleitmassnahmen	96
9.3	Widerstände	97
9.4	Expertenwissen zur Anwendung von MBSE	97
9.5	Nutzen von SE und MBSE	98
9.6	Sichtbarkeit des Nutzens	99
9.7	Einfluss auf die Prozesse und die Organisation	99
10	BEZUG ZU DEN FORSCHUNGSFRAGEN UND BEDEUTUNG FÜR DIE PRAXIS	101
10.1	Forschungsfragen im Kontext der theoretischen und empirischen Resultate	101
10.2	Handlungsempfehlungen für die Praxis	103
11	ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK	106
11.1	Zusammenfassung	106
11.2	Ausblick	107
ANHANG A	NOTATIONSÜBERSICHT DER OMG SYSTEMS MODELING LANGUAGE V 1.3	109
ANHANG B	ONLINE BIBLIOTHEKEN UND SUCHBEGRIFFE	111
ANHANG C	ZUSAMMENFASSUNG DER LITERATUR ÜBER DEN NUTZEN	113
ANHANG D	WORLD CAFÉ	118
ANHANG E	EINLEITUNG EXPERTENINTERVIEW	128
ANHANG F	KATEGORIENBEZOGENE ZUSAMMENSTELLUNG DER EXPERTENINTERVIEWS	130
	ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	159
	ABBILDUNGSVERZEICHNIS	160
	TABELLENVERZEICHNIS	161

LITERATURVERZEICHNIS162

1 EINLEITUNG

"Das Notwendige ist nie zu teuer bezahlt."

Marcus Tullius Cicero (106 - 43 v. Chr.), römischer Redner und Staatsmann

Der erste Abschnitt dieses Kapitels beschreibt die Ausgangssituation und die Motivation, welche zu dieser Arbeit geführt haben und im darauffolgenden Abschnitt wird die zu analysierende Problemstellung erläutert. Der dritte Abschnitt formuliert die Forschungsfrage, welche durch diese Arbeit beleuchtet und beantwortet werden soll. Davon abgeleitet wird im vierten Abschnitt die Zielsetzung erläutert und im fünften Abschnitt das methodische Vorgehen beleuchtet. Das Kapitel wird mit der Beschreibung des Aufbaus der vorliegenden Masterarbeit abgeschlossen.

1.1 Ausgangssituation und Motivation

Die zunehmende Vernetzung der Disziplinen und die Erhöhung der Komplexität in der Produktentwicklung bedingen eine gesamtheitliche Systemsicht über den gesamten System- und Produkt-Lifecycle. Diese umfassende Sicht ermöglicht es den Kundenanforderungen gerecht zu werden, die Risiken zu managen und zu reduzieren, die Wiederverwendbarkeit zu erhöhen, Design und Variantenbildung zu unterstützen und Abhängigkeiten zu verstehen (INCOSE, 2007, 2014; Tommasi & Vacca, 2014).

Systems Engineering¹ ist ein interdisziplinärer Ansatz zur erfolgreichen Realisierung von Systemen, welcher die oben genannten Forderungen erfüllt und ein effektiver Weg zum Management von Komplexität darstellt (Walden, Roedler, Forsberg, Hamelin & Shortell, 2015, S. 13).

Dieser Umstand stellt Firmen in unterschiedlichsten Branchen aufgrund der Komplexitätszunahme und des Kosten- und Zeitdrucks vor die Frage, ob die Einführung von Systems Engineering (oder auch modellbasiertes Systems Engineering²) sich lohnt und sie dadurch einen Wettbewerbsvorteil erlangen (Huckriede, Joachim & Storck, 2016). Es kann so weit gehen, dass sich die Unternehmen einen Nachteil gegenüber Konkurrenten, die MBSE einführen und anwenden, einhandeln könnten.

Gausemeier et al. (2013) belegen in ihrer Studie, dass Systems Engineering eine notwendige Voraussetzung in der Industrie ist, um komplexe technische Systeme zu entwickeln. In der

¹ Systems Engineering wird im Folgenden mit SE abgekürzt.

² Der Begriff modellbasiertes Systems Engineering wird synonym mit Model-Based Systems Engineering und MBSE verwendet.

industriellen Praxis besteht jedoch zurzeit eine Lücke zwischen dem aktuellen Leistungsstand von SE und den Erwartungen und dem Bedarf von Unternehmen. Die Autoren stellen die Frage, wieso sich Systems Engineering bis jetzt nicht in der Breite durchsetzen konnte. Das Haupthindernis ist gemäss ihrer Auswertung die fehlende Akzeptanz bei den Mitarbeitern/Mitarbeiterinnen und der Organisation. In Abbildung 1-1 sind die wesentlichen Hindernisse für eine Einführung von SE aufgeführt. Es ist ersichtlich, dass der Punkt «Nutzen nicht quantifizierbar» als das grösste Hindernis identifiziert wurde.

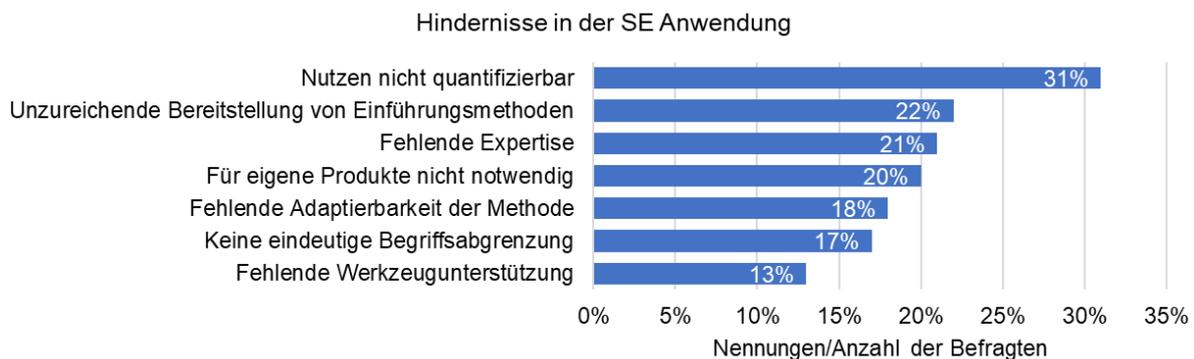


Abbildung 1-1: Hindernisse in der SE Anwendung (in Anlehnung an Gausemeier et al., 2013)

Rambo, Huwig, Langlotz und Hämisch (2016) haben in der Auswertung einer Umfrage bei Mercedes Benz Cars mit dem Titel «Verbesserung der Fähigkeiten zur modellbasierten Systementwicklung» festgestellt, dass die meisten TeilnehmerInnen zu wenig über MBSE informiert sind, aber gerne mehr dazu erfahren würden. Personen, die MBSE bereits kennen gelernt haben, stehen der Einführung jedoch positiv gegenüber. Sie empfehlen, den positiv eingestellten Personen rasch weitere Informationen zum Thema MBSE zukommen zu lassen und den Nutzen aufzuzeigen. Zusätzlich sollen Massnahmen ergriffen werden, damit die beteiligten Personen den Nutzen von MBSE aus eigenen Entwicklungsprojekten erfahren können. Abschliessend weisen sie darauf hin, dass eine Folgebefragung während eines Veränderungsprojektes noch detailliertere Bedarfe und Potenziale zum MBSE ergeben würde.

Auch die Untersuchungen von Kleiner und Husung (2016) bestätigen, dass es für Unternehmen eine Herausforderung ist, den Nutzen von MBSE zu erkennen, damit sie die Hürden und Aufwände bei der Einführung überwinden können. Nur wer Erfahrungen durch ein MBSE-Pilotprojekt sammelt, kann in zukünftigen Produktentwicklungen profitieren. Für Unternehmen, die diesen ersten Schritt wagen, wird das Nutzenpotenzial offensichtlich werden.

Die oben genannten Studien zeigen deutlich, dass im Bereich der Einführung von SE und MBSE in einem Unternehmen, gekoppelt mit dem Aufzeigen des Nutzenpotenzials, Handlungsbedarf besteht. Aufgrund der steigenden Komplexität und Interdisziplinarität setzen sich immer mehr Unternehmen mit der Frage nach der Einführung von SE auseinander. Die Hürden der Einführung können reduziert werden, wenn ein angepasster Einführungsprozess vorhanden ist und gleichzeitig der Nutzen aufgezeigt oder zumindest prognostiziert werden kann.

1.2 Problemstellung

Systems Engineering ist in den Branchen Rüstung, Luft- und Raumfahrt und in Unternehmen, die Grossprojekte durchführen, bereits fest etabliert. Wie in Kapitel 1.1 dargestellt sieht die Situation in der industriellen Praxis anders aus. In vielen Unternehmen ist SE noch nicht eingeführt, obwohl der Bedarf nach einem systematischen Ansatz zur Bewältigung von Komplexität, interdisziplinärer Zusammenarbeit und zunehmender Vernetzung vorhanden ist.

Unternehmen oder Unternehmensbereiche sind mit der Frage konfrontiert, ob sie Systems Engineering einführen müssen, um in Zukunft weiter konkurrenzfähig zu sein. Der Entscheid, ob SE eingeführt wird, hängt von unterschiedlichen Faktoren ab und bedarf einer Investition von Zeit und Geld. Als Beispiel für diese beeinflussenden Faktoren kann die Bereitschaft zur Einführung oder Anpassung von Rollen, Prozessen und Methoden, sowie der Leidensdruck in aktuellen Projekten in Bezug auf Entwicklungszeit und Reduktion von Fehlern angesehen werden. Der Entscheid für oder gegen die Einführung von MBSE in einem Unternehmen wird massgeblich durch eine Aufwand-Nutzen-Betrachtung abgewogen werden.

In der Standardliteratur über MBSE werden Nutzenpotenziale in einer sehr generischen und allgemeinen Art angegeben (Friedenthal, Moore & Steiner, 2015, S. 20; Walden et al., 2015, S. 189). Zusätzlich gibt es spezifische Untersuchungen und Studien im Bereich Projekt-Performance und Return on Invest, bezogen auf SE (Elm, 2011; Honour, 2013), spezifische Fallstudien in Bereichen Automobil, Gerätehersteller und Anlagenbau (Kleiner & Husung, 2016) und Erweiterungen von bestehenden Prozessen mit MBSE (Tommasi & Vacca, 2014), welche nahelegen, dass mit dem Einsatz von Systems Engineering ein Nutzen erzielt wird. Die Untersuchungen im Bereich Wirtschaftlichkeit belegen, dass der Einsatz von SE einen Mehrwert generiert, wobei die Analysen keine absoluten Werte liefern, sondern nur relative Resultate darstellen.

Das zentrale Problem für Unternehmen beim Entscheid, ob SE eingeführt wird oder nicht, besteht darin, dass der Nutzen in ihrem spezifischen Kontext nicht eindeutig sichtbar ist und sich auch nicht direkt aus den oben genannten Studien ableiten lässt. Es kann für das jeweilige Unternehmen nicht vorhergesagt werden, wie das Verhältnis von Investition und Nutzen ist.

Es stellt sich die Frage, wie das Management überzeugt werden kann, in die Einführung von SE oder MBSE zu investieren. Gleichzeitig müssen die MitarbeiterInnen gewonnen werden, sich mit den neuen Methoden und Prozessen auseinander zu setzen und diese in der Projektarbeit anzuwenden.

Diese Masterarbeit setzt sich mit dem Problem der Nutzenanalyse von MBSE bei ihrer Einführung in Industrieunternehmen auseinander. Der Fokus wird auf Unternehmen gelegt, welche im Gegensatz zu Firmen im Bereich Rüstung, Raum- und Luftfahrt, Systems Engineering nicht traditionell einsetzen.

Die Nutzenanalyse soll in der Praxis helfen, das Management und die MitarbeiterInnen zu überzeugen, dass sich die Einführung und Umsetzung von SE und MBSE in der Produktentwicklung lohnt. Sie soll in einem Pilotprojekt herangezogen werden, um während der Einführungsphase den Nutzen sichtbar zu machen. Aus wissenschaftlicher Sicht wird mit dieser Arbeit die Wissensbasis für die Disziplin Systems Engineering erweitert.

1.3 Zielsetzung dieser Arbeit

Das Ziel der Arbeit ist das Erstellen eines Nutzenmodells für MBSE, basierend auf einer Analyse während der Einführung in einem Unternehmen. Das Nutzenmodell soll in der Praxis angewandt werden können und als Basis für weitere wissenschaftliche Untersuchungen dienen. Basierend auf dem Nutzenmodell können Hypothesen für weitere Studien aufgestellt werden, welche in der Folge zum Beispiel mit einer quantitativen Datenerhebung geprüft werden können.

Das Nutzenmodell soll unterschiedliche Bereiche und Themen berücksichtigen, welche bei der Einführung von MBSE und bei der Durchführung von industriellen Entwicklungsprojekten von Bedeutung sind. Das Modell soll verwendet werden können, um den Nutzen zu bewerten und Unterstützung bei den folgenden Punkten zu bieten:

- Den Nutzen von MBSE sowohl für MitarbeiterInnen, als auch für das Management sichtbar zu machen.
- Den Nutzen unterschiedlichen Bereichen wie Kostenreduktion, Zeitersparnis, Zusammenarbeit oder Kommunikation zuzuordnen.
- Erstellung eines MBSE-Nutzenmodells, welches in unterschiedlichen Unternehmen angewandt werden kann.

Basierend auf den oben genannten Erwartungen werden die folgenden Unterziele definiert.

- Definition von Nutzen im Kontext der Produktentwicklung und modellbasiertem Systems Engineering.
- Identifikation von MBSE-Artefakten, welche einen Nutzen im Projekt bewirken.
- Bestimmung von unterschiedlichen Nutzen-Kategorien bezogen auf MBSE in der Produktentwicklung.
- Verständnis für Widerstände und Hindernisse, welche den Nutzen verringern oder zunichte machen.
- Verwendung des Modells als theoretische Basis für weitere Untersuchungen.

1.4 Forschungsfrage

In Kapitel 1.2 wurden verschiedene Studien erwähnt, welche den Nutzen von SE und MBSE in unterschiedlichem Kontext aufzeigen. Dem gegenüber steht die Hypothese von Sheard und Miller (2000), dass es keine «harten Zahlen» geben wird, welche die Wirtschaftlichkeit von MBSE beweisen. Das bedeutet, dass es möglich sein müsste, den Nutzen zumindest relativ und auf subjektiven Merkmalen basierend während der Einführung von MBSE sichtbar zu machen, auch wenn der Nutzen nicht direkt mit Zahlen messbar ist. Es darf nicht vergessen werden, dass das Nutzenpotenzial von MBSE identifiziert werden sollte, bevor mit einer Einführung gestartet wird.

Für die Einführung und die weitere Nutzung von MBSE in einem Unternehmen und die Weiterentwicklung der Disziplin Systems Engineering ist es wichtig, dass der Nutzen aufgezeigt werden kann. Basierend auf dieser Erkenntnis wird die zentrale Forschungsfrage formuliert:

F1: Wie kann der Nutzen während der Einführung von Model-Based Systems Engineering in Industrieunternehmen identifiziert werden?

Die Beantwortung dieser Forschungsfrage soll durch das Erstellen eines MBSE-Nutzenmodells erreicht werden. Dieses Modell kann für weitere Untersuchungen im wissenschaftlichen Bereich, wie auch in der Praxis angewandt werden.

Ausgehend von der Forschungsfrage F1 können weitere Forschungsfragen abgeleitet werden:

F2: Wie kann das Nutzenpotenzial von MBSE vor der Einführung erfasst und identifiziert werden?

F3: Welche Arten oder Kategorien von Nutzen gibt es im Bereich MBSE?

F4: Was braucht es für Voraussetzungen, damit der Nutzen erkennbar wird?

F5: Was könnten Hindernisse für die Entstehung des Nutzens sein?

Für die Beantwortung dieser Fragen werden Befragungen von Betroffenen während der Einführung von MBSE vorgenommen. Zusätzlich fließen Erkenntnisse aus der Literatur bezüglich des Nutzens von MBSE und Nutzen allgemeiner Art im Bereich Produktentwicklung in die Untersuchung und die Erstellung des Modells mit ein.

1.5 Methodisches Vorgehen

Für die Bearbeitung und die Beantwortung der Forschungsfragen wird ein induktiver Forschungsansatz gewählt. Basierend auf einer Literaturrecherche wird ein theoretisches Nutzenmodell für MBSE erstellt. Mittels der Durchführung eines World Cafés und von Interviews mit Experten und Expertinnen wird versucht eine Nutzentheorie zu erstellen, welche in der Praxis angewandt werden kann.

Im theoretischen Teil dieser Arbeit werden mit einer Literaturrecherche zum einen die Grundlagen von MBSE erarbeitet und zum anderen wird der Stand der Technik bezüglich des Nutzens von Systems Engineering und modellbasiertem Systems Engineering untersucht. Die Literaturrecherche schliesst zusätzlich die Untersuchung einer allgemeinen Definition von Nutzen im Kontext der Produktentwicklung ein und betrachtet auch den Nutzen in angrenzenden Gebieten, wie zum Beispiel das Projektmanagement.

Ausgehend von der Literaturrecherche und der Analyse der gewonnenen Erkenntnisse wird basierend auf Annahmen ein Nutzenmodell für MBSE erstellt. Dabei werden die Resultate der einzelnen Studien zueinander in Kontext gestellt und kategorisiert. Diese Annahmen stellen den Startpunkt für die nächste Phase dar.

Im empirischen Teil der Arbeit wird mittels Leitfadeninterviews versucht, die Annahmen zu festigen und ein theoretisches Nutzenmodell zu erstellen. Zur Erstellung des Leitfadens werden die Annahmen, auf welchen das theoretische Nutzenmodell basiert, verwendet. Zusätzlich soll ein Workshop in Form eines World Cafés mit Personen, die bei der Einführung von MBSE beteiligt sind, weitere Frage für den Leitfaden und Erkenntnisse für die Analyse liefern.

Die Interviews und das World Café werden vorwiegend mit Personen einer bestimmten Firma durchgeführt. Diese Personen haben zum Teil bereits erste Erfahrung mit MBSE gesammelt oder arbeiten in einem Pilotprojekt, in welchem MBSE eingeführt wird. Um eine zu starke Fokussierung auf diese Firma zu vermeiden und eine Art methodische Triangulation zu erreichen, werden einzelne Leitfadeninterviews mit Mitarbeitern oder Mitarbeiterinnen von zwei weiteren Firmen durchgeführt. Diese beiden Unternehmen befinden sich ebenfalls in der Phase der Einführung von Systems Engineering.

Die Auswertung der Interviews wird anhand von transkribierten Aufnahmen erfolgen und die Grundlage für die Erstellung einer Nutzentheorie für MBSE darstellen.

1.6 Aufbau der Arbeit

Die Arbeit gliedert sich nach der Einleitung in drei Hauptteile. Im ersten Teil werden die theoretischen Grundlagen von MBSE und dessen Nutzen behandelt. Der zweite Teil beinhaltet die empirischen Untersuchungen und im dritten Teil werden die Ergebnisse besprochen. In Abbildung 1-2 ist eine Übersicht der einzelnen Kapitel und den entsprechenden Zusammenhängen dargestellt.

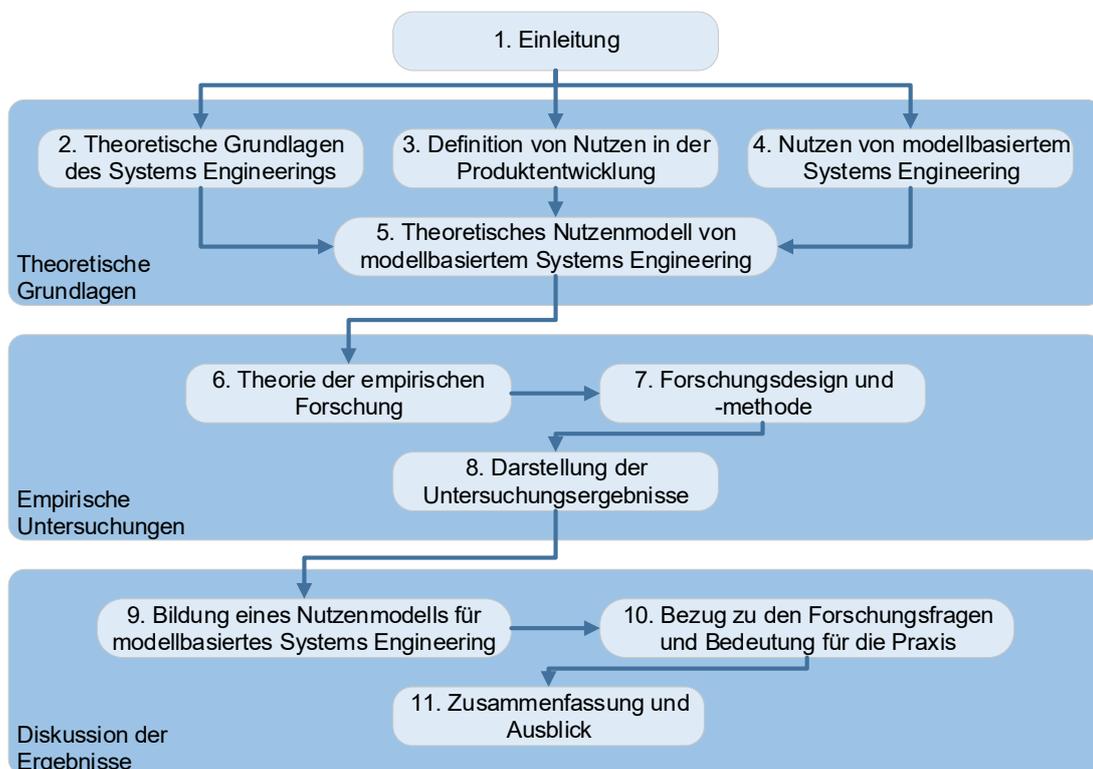


Abbildung 1-2: Aufbau der Masterarbeit

In Kapitel 2 werden die theoretischen Grundlagen von Systems Engineering und die Erweiterung zum modellbasierten Systems Engineering beschrieben. Es wird auf die Methoden, die Modellierungssprachen und die Modellierungswerkzeuge eingegangen, welche es für die Anwendung von MBSE braucht. Anschliessend wird betrachtet, wie SE oder MBSE in Unternehmen eingeführt werden kann und was berücksichtigt werden muss. Abgeschlossen wird das Kapitel mit einer Diskussion der Nutzenpotenziale aus der Standardliteratur.

Der Nutzen im Kontext der Produktentwicklung wird in Kapitel 3 erläutert. Es werden unterschiedliche Nutzenklassen definiert und die Verbindung zur Wirtschaftlichkeitsbetrachtung aufgezeigt.

Kapitel 4 setzt sich breit mit dem Thema Nutzen von modellbasiertem Systems Engineering auseinander. Nach der Erläuterung des methodischen Vorgehens der Literaturrecherche werden Empfehlungen zur Einführung vom MBSE in einem Unternehmen gegeben. Die Definition von unterschiedlichen Nutzenklassen bezeichnet die Basis für die Klassifizierung der Literatur und Abschnitt 4.4 beschreibt den Stand der Technik bezüglich des Nutzens von SE und MBSE. Ergänzend wird der Nutzen in angrenzenden Bereichen wie Projektmanagement oder Produkt Lifecycle Management betrachtet, um Analogien und Synergien zu identifizieren. Abgeschlossen wird das Kapitel mit einer Reflexion der unterschiedlichen Nutzenkategorien.

In Kapitel 5 wird ein theoretisches Nutzenmodell für MBSE, basierend auf den Erkenntnissen aus der Literaturrecherche und Annahmen, erstellt. Dieses Nutzenmodell stellt die Basis für die weiteren empirischen Untersuchungen dar.

Kapitel 6 widmet sich der Theorie der empirischen Forschung, welche in dieser Arbeit angewandt wird. Es werden die qualitative, die quantitative und die Mixed-Methods Forschung vorgestellt.

Kapitel 7 beschreibt das Forschungsdesign und die angewandte Methodik. Im ersten Abschnitt wird die Forschungsmethode ausgewählt und die Wahl begründet. Der zweite Abschnitt stellt den Forschungsprozess dar und der dritte Abschnitt beschäftigt sich mit dem Umfeld, in welchem die Untersuchungen durchgeführt werden. Abgeschlossen wird das Kapitel mit der Beschreibung der zwei Methoden, die zur Anwendung kommen. Es wird erläutert, wie das World Café und die Experteninterviews geplant, durchgeführt und ausgewertet werden.

Die Untersuchungsergebnisse werden in Kapitel 8 dargestellt. Es wird detailliert auf die Ergebnisse des World Cafés und der Experteninterviews eingegangen. Im Anschluss an die Diskussion der Ergebnisse werden die Resultate reflektiert und die Limitationen der Untersuchungsergebnisse besprochen.

Basierend auf den Untersuchungsergebnissen wird in Kapitel 9 das Nutzenmodell für modellbasiertes Systems Engineering definiert. Die einzelnen Komponenten des Modells werden ausführlich erklärt und beschrieben.

In Kapitel 10 werden die Erkenntnisse aus den Untersuchungen in Bezug zu den Forschungsfragen gestellt und die Bedeutung für die Praxis analysiert. Basierend auf den Resultaten werden Handlungsempfehlungen in Relation zu den unterschiedlichen Themengebieten und Nutzenkategorien gegeben.

Die Arbeit wird mit einer Zusammenfassung und einem Ausblick in Kapitel 11 abgeschlossen. Der Ausblick bespricht mögliche weitere wissenschaftliche und praktische Untersuchungen, um die Theorie des Nutzenmodells von MBSE zu überprüfen und weiterzuentwickeln.

2 THEORETISCHE GRUNDLAGEN DES SYSTEMS ENGINEERINGS

Systems Engineering ist ein sehr weit gefasster Begriff und ein breites Betätigungsfeld. Es gibt eine grosse Palette von Literatur über SE und MBSE, sowie diverse unterschiedliche Definitionen von Begriffen. In diesem Kapitel werden die Grundlagen bezüglich Systems Engineering erarbeitet und der Übergang zum modellbasierten Systems Engineering beleuchtet. Es wird erläutert, was MBSE ist und welche Elemente benötigt werden, um es in der Produktentwicklung anzuwenden. Ein Abschnitt ist dem Thema gewidmet, wie Systems Engineering in einem Unternehmen eingeführt werden kann und was beachtet werden muss. Die Betrachtung des Nutzenpotenzials aus der Standardliteratur wird im letzten Abschnitt besprochen.

2.1 Systems Engineering

Systems Engineering wurde das erste Mal in den 1930er Jahren erwähnt und hat sich seither stetig weiterentwickelt. Die Planung von Telekommunikationsanlagen durch die Bell Laboratories in den 1940er Jahren gilt als Ursprung des industriellen Systems Engineerings. Den Durchbruch erreichte SE mit den militärischen Raum- und Luftfahrtprogrammen in der USA in den 1950er Jahren. Gegen Ende des letzten Jahrhunderts wurde vermehrt das Management der Produktentwicklung betrachtet und dabei der Begriff Systems-Lifecycle geprägt und so wurde SE vermehrt als Managementlehre gesehen. 1995 wurde das International Council of Systems Engineering (INCOSE³) gegründet, was einen weiteren Meilenstein darstellt. 2008 fand eine Konsolidierung unterschiedlicher Standards statt und resultiert in der Norm ISO/IEC/IEEE 15288 (2015). Systems Engineering wird aktuell in all seinen Facetten von verschiedenen Forschungseinrichtungen und Interessengemeinschaften vorangetrieben (Gausemeier et al., 2013; Walden et al., 2015).

Es stellt sich die Frage, was ist Systems Engineering und wie wird es definiert. Es gibt unzählige Definitionen von SE. Allein das Systems Engineering Handbook listet drei unterschiedliche Auffassungen auf, welche eine SE-Perspektive, einen SE-Prozess und SE als Disziplin oder Profession beschreiben. Diese drei Definitionen werden im Folgenden in verkürzter Form wiedergegeben (Walden et al., 2015, S. 11).

- Systems Engineering ist ein **interdisziplinärer Ansatz** zur erfolgreichen Realisierung von Systemen, wobei der gesamte Lifecycle von den Anforderungen bis zum funktionsfähigen System betrachtet wird.

³ Der Begriff INCOSE bezeichnet das International Council on Systems Engineering. Das INCOSE ist eine Non-Profit Organisation, mit der Aufgabe interdisziplinären Prinzipien zu verbreiten und die Realisierung von erfolgreichem Systems Engineering zu praktizieren (<https://www.incose.org/about-incose>).

- Systems Engineering ist ein iterativer **Prozess** zur Top-Down Synthese, Entwicklung und Betrieb von Systemen, welche die Kundenanforderungen möglichst optimal abbilden.
- Systems Engineering ist eine **Disziplin**, welche sich auf das Design und die Anwendung eines Gesamtsystems konzentriert und nicht auf die einzelnen Systemkomponenten.

Der SE-Prozess basiert auf einer iterativen Methodik, welche in Abschnitt 2.2.1 in Bezug zu MBSE genauer betrachtet wird. System Thinking stellt die Basis der SE Perspektive dar und fokussiert auf die Gesamtheit eines Systems und wie die Teile oder Elemente darin interagieren. System Thinking findet durch Entdecken, Lernen, Diagnosen oder Synthesen und Dialog statt und führt so zu einem Verständnis der Umwelt und dem System, welches in dem entsprechenden Umweltkontext funktionieren muss (Walden et al., 2015).

Das International Council on Systems Engineering (INCOSE, o.D.) definiert auf seiner Homepage Systems Engineering folgendermassen:

Systems Engineering is an interdisciplinary approach and means to enable the realization of successful systems. It focuses on defining customer needs and required functionality early in the development cycle, documenting requirements, then proceeding with design synthesis and system validation while considering the complete problem: Operations, Performance, Test, Manufacturing, Cost & Schedule, Training & Support, Disposal.

Systems Engineering integrates all the disciplines and specialty groups into a team effort forming a structured development process that proceeds from concept to production to operation. Systems Engineering considers both the business and the technical needs of all customers with the goal of providing a quality product that meets the user needs (INCOSE, o.D.).

Diese Definition umfasst den gesamten Produktlebenszyklus eines Systems von der Definition der Kundenanforderungen und der gewünschten Funktionalität, über die Designsynthese und Systemvalidierung. Dabei wird die umfassende Problemstellung im Fokus behalten, welche den Betrieb, die Systemleistung, das Testen, aber auch die Kosten und den Zeitplan berücksichtigt. Zudem werden die Bereiche wie Kundentraining und -support und am Ende des Lebenszyklus die Entsorgung oder die Wiederverwertung mit in die Problemstellung integriert.

Dies allein reicht aber noch nicht aus, um erfolgreich Systeme zu entwickeln und diese dem Kunden oder der Kundin zur Verfügung zu stellen. Es ist ebenfalls Aufgabe des Systems Engineerings, die bei der Entwicklung beteiligten Disziplinen zu berücksichtigen und zu integrieren. Dies sind klassischerweise Disziplinen wie Elektronik, Mechanik oder Software. Zudem muss sichergestellt werden, dass andere Teams mit speziellen Kenntnissen eingebunden werden. Mit allen beteiligten Disziplinen und Personen wird ein strukturierter Entwicklungsprozess geformt, welcher von der Konzeption über die Produktion bis zum Betrieb des Systems reicht. Während des gesamten Prozesses müssen die betriebswirtschaftlichen und technischen Rahmenbedingungen und Bedürfnisse berücksichtigt werden, um für den Kunden und die Kundin ein Produkt mit hoher Qualität herzustellen, das deren Wünschen entspricht.

Aktuell arbeitet das INCOSE Fellows Definition Team an einer neuen Version der Definition von «System» und «Systems Engineering», welche die INCOSE Mission besser unterstützen soll.

Diese Definitionen sind noch nicht verfügbar, aber es zeigt, dass sowohl die Begrifflichkeiten als auch die Anwendung von SE einem kontinuierlichen Wandel ausgesetzt sind (Jackson, 2018).

In den Ausführungen oben wurden die SE-Prozesse erwähnt. Die ISO/IEC/IEEE 15288 (2015) setzt sich mit diesen Prozessen auseinander und identifiziert vier Gruppen zur Unterstützung von SE. Diese vier Prozessgruppen sind in Abbildung 2-1 dargestellt.

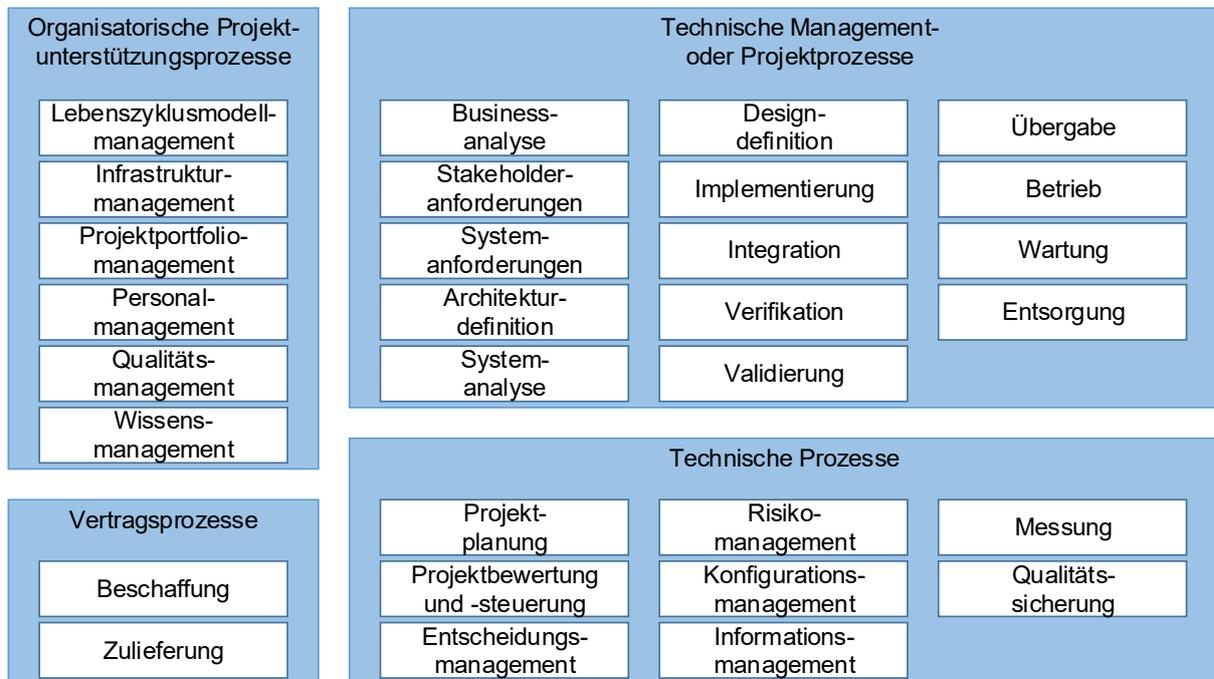


Abbildung 2-1: System Lifecycle Prozesse (in Anlehnung an ISO/IEC/IEEE 15288, 2015, S. 16)

Die Prozesse sollen die Kommunikation von Käufern/Käuferinnen, Lieferanten/Lieferantinnen und anderen Stakeholdern über den Lebenszyklus des Systems unterstützen. Ferner können die Prozesse verwendet werden, um Methoden, Prozeduren, Techniken, Werkzeuge und Schulungen im Geschäftsumfeld aufzubauen. Sie umfassen den gesamten Produktlebenszyklus von der Konzeption und Entwicklung über die Produktion, die Verwendung und den Support bis zur Entsorgung oder zur Wiederverwertung. Im Folgenden werden diese Prozesse kurz beschrieben, wobei für eine detaillierte Betrachtung auf die Norm verwiesen wird (ISO/IEC/IEEE 15288, 2015).

- Die **technischen Prozesse** betreffen die technischen Aufgaben über den gesamten Lebenszyklus und überführen die Kundenbedürfnisse in ein Produkt oder eine Dienstleistung. Sie werden angewandt, um ein System zu erschaffen oder zu verwenden und stellen eine nachhaltige Leistung, wo immer benötigt, sicher.
- Die **technischen Management- oder Projektprozesse** kümmern sich um die Ressourcen und Güter, die von der Organisation zur Verfügung gestellt werden. Die Prozesse beziehen sich auf die technischen Aufwände und Aktionen in einem Projekt und betreffen vor allem die Planung von Kosten, Zeit und Lieferobjekten, um zu prüfen, ob die Vorgaben erreicht werden und um gegebenenfalls korrigierende Aktionen zu starten.

- Die **Vertragsprozesse** berücksichtigen, dass eine Organisation sowohl Lieferant oder Nutzer von Systemen sein kann und kümmern sich um die Vereinbarungen und Verträge zwischen den einzelnen Unternehmen.
- Der **organisatorische Projektunterstützungsprozess** kümmert sich um die zur Verfügungstellung von Ressourcen (Anlagen, Personen, finanzielle Mittel, etc.), um die Projekte erfolgreich durchführen zu können. Dieser Prozess ist typischerweise auf der strategischen Ebene angesiedelt und hat die Verbesserung des Geschäftsergebnisses als Ziel.

Der Umfang von SE innerhalb des Entwicklungs- und Managementprozesses ist in Abbildung 2-2 dargestellt und zeigt die Beziehungen von SE, der Systemimplementierung und dem Projekt- oder Systemmanagement (BKCASE Editorial Board, 2017). Es sind grosse Überlappungsbereiche zwischen den einzelnen Bereichen sichtbar, was einen ständigen Austausch, eine gute Kommunikation und eine Dokumentation der Artefakte bedingt.

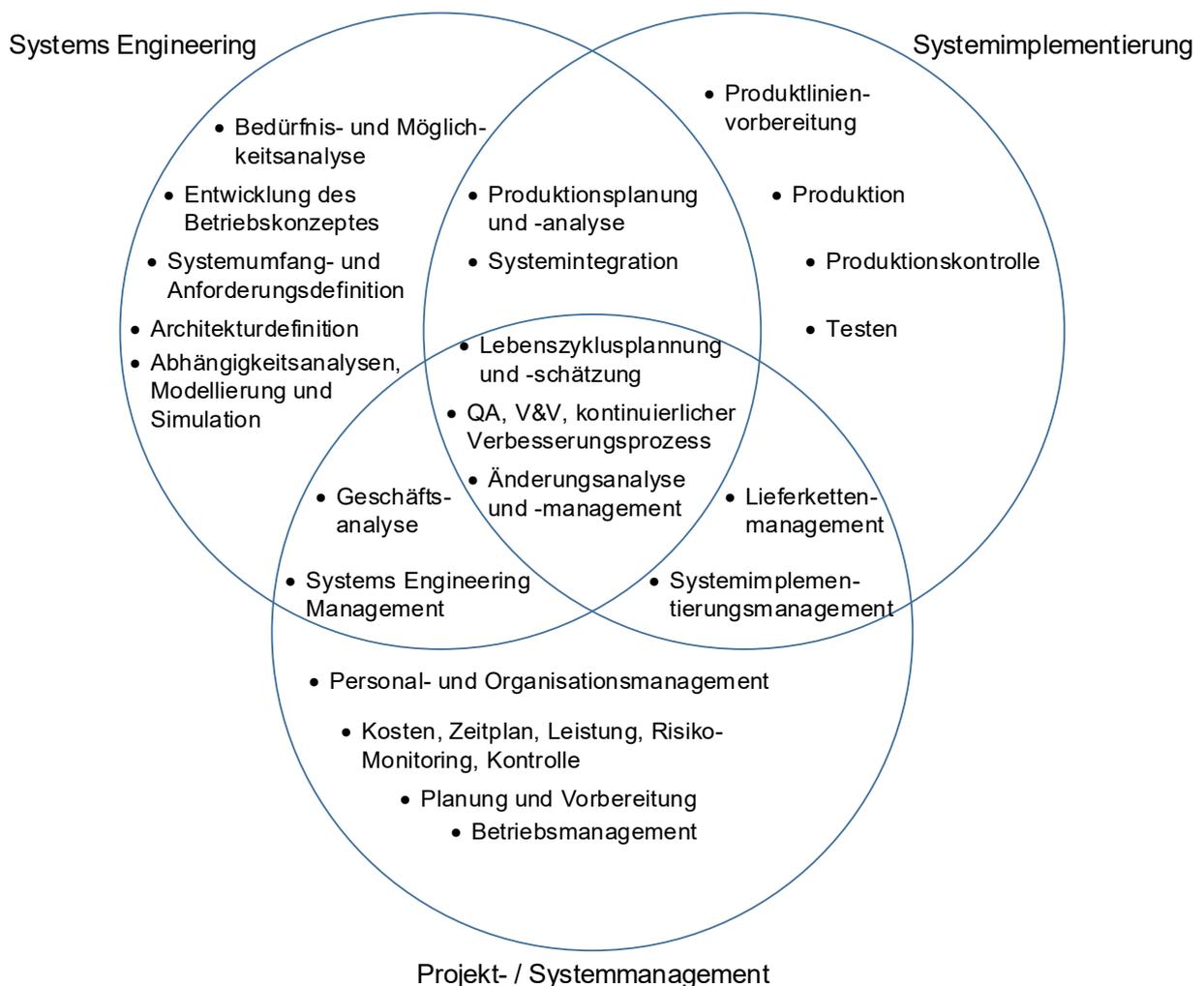


Abbildung 2-2: Systemgrenzen von Systems Engineering, Systemimplementierung und Projekt- / Systemmanagement (in Anlehnung an BKCASE Editorial Board, 2017)

Die bisherigen Ausführungen über Systems Engineering sind sehr theorielastig und geben noch keine genauen Hinweise, wie SE in der Praxis umgesetzt werden kann. Haberfellner und Daenzer

(2002) setzen sich in ihrem Buch «Systems Engineering – Methodik und Praxis» mit der direkten Anwendung von SE auseinander und interpretieren SE folgendermassen:

Auf eine knappe Formel gebracht, soll Systems Engineering (SE) als eine auf bestimmten Denkmodellen und Grundprinzipien beruhende Wegleitung zur zweckmässigen und zielgerichteten Gestaltung komplexer Systeme betrachtet werden (Haberfellner & Daenzer, 2002, S. XVIII).

Abbildung 2-3 stellt die Komponenten des Systems Engineering dar. Die SE-Philosophie bezeichnet den geistigen Überbau und beinhaltet das Systemdenken und ein generelles Vorgehensmodell, welches als Leitfaden für die Problemlösung dient. Die SE Methodik beinhaltet zwei voneinander abgrenzbare Bereiche, die Systemgestaltung und das Projektmanagement, welche zusammen den Problemlösungsprozess beschreiben. Bei beiden Komponenten kommen jeweils die entsprechenden Ausführungstechniken zur Anwendung, um von einem Problem zu einer Lösung zu kommen (Haberfellner & Daenzer, 2002).

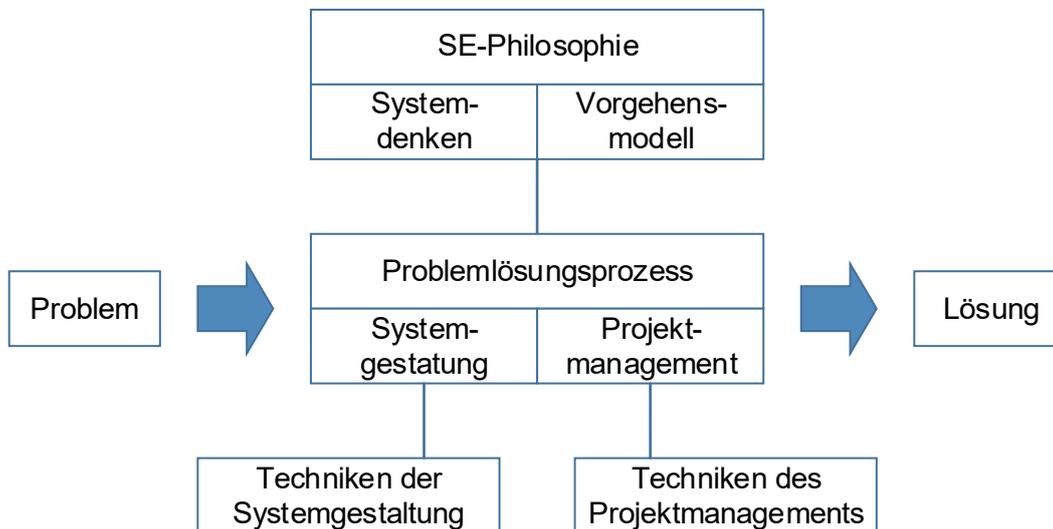


Abbildung 2-3: Komponenten des Systems Engineering (in Anlehnung an Haberfellner & Daenzer, 2002)

Die SE-Philosophie beinhaltet zwei wesentliche Bereiche, das Systemdenken und das Vorgehensmodell. Diese beiden Grundpfeiler werden im Folgenden beschrieben.

Das Systemdenken ermöglicht es, komplexe Systeme besser zu verstehen und zu gestalten. Es beinhaltet Begriffe zur Beschreibung komplexer Zusammenhänge, modellhafte Ansätze zur Veranschaulichung von komplexen Erscheinungen und allgemeine Ansätze, die das gesamtheitliche Denken unterstützen.

Ein System bildet ein Ganzes, welches aus einzelnen Elementen besteht und bei welchem die Elemente untereinander in Beziehung stehen. Das System ist eingebettet in eine Umgebung, wobei die Grenze zwischen System und Umgebung als Systemgrenze bezeichnet wird. Das System oder Element daraus kann mit der Umgebung, mit Elementen der Umgebung oder mit anderen Systemen in Verbindung stehen und Beziehungen haben. Die Elemente eines Systems können selbst wieder ein System darstellen und ihrerseits wieder Elemente enthalten, was als

Subsystem oder Untersystem bezeichnet wird. Mit diesen Begriffen kann ein System dargestellt und spezifiziert werden.

Systeme können unterschiedlich dargestellt werden und eine Möglichkeit stellt die Visualisierung mittels Hierarchieebenen dar. Eine weitere Variante ist die Darstellung basierend auf speziellen Aspekten, wobei nur bestimmte Elemente und Beziehungen gezeigt werden und alles andere weggelassen wird. Ein Beispiel dafür wäre die Darstellung eines Materialflusses. Durch das Ausblenden von überlagernden Strukturen können die Diagramme einfacher lesbar gemacht werden.

Betrachtungsweisen für ein System sind vielfältiger Natur und daher werden hier nur die wichtigsten genannt. Die umfeldorientierte Betrachtungsweise konzentriert sich auf das Umfeld des Systems und die damit verbundene Interaktion, wobei das System selbst als Blackbox betrachtet wird. Die wirkungsorientierte Betrachtung stellt die Ein- und Ausgaben eines Systems in den Fokus. Die strukturorientierte Betrachtung stellt die Elemente eines Systems und deren Beziehungen ins Zentrum und analysiert die dynamischen Wirkmechanismen. Für die unterschiedlichen Darstellungen kommen Matrizen oder Graphen zur Anwendung.

Das SE-Vorgehensmodell basiert auf 4 Grundgedanken:

- Vorgehen vom Groben zum Detail
- Variantenbildung
- Prozess der Systemabwicklung entlang eines Phasenablaufs
- Problemlösungszyklus als Leitfaden zur Lösung und Analyse von Problemen

Das Vorgehen vom Groben zum Detail ermöglicht von Beginn an eine ganzheitliche Sicht auf das System und bringt eine schrittweise Auflösung einer Black-Box hin zu einer Gray-Box⁴. Damit gelingt es am Anfang eines Projekts oder einer Betrachtung, das zu analysierende Feld weiter zu fassen und schrittweise einzuengen.

Mit der Variantenbildung wird sichergestellt, dass nicht einfach die naheliegendste oder die bekannteste Lösung verwendet wird. Damit wird das Denken in Alternativen gefördert und es wird das Risiko minimiert, dass grundsätzlich andere Lösungsansätze erst in einer fortgeschrittenen Projektphase auftauchen oder zur Sprache gebracht werden.

Die Prozesse der Systemabwicklung werden durch einen Phasenplan gegliedert. Die Phasen umfassen den Anstoss, die Vorstudie, die Hauptstudie, die Detailstudien, den Systembau, die Systemeinführung und Übergabe des Systems und den Abschluss des Projektes. Zwischen den einzelnen Phasen wird jeweils geprüft, ob das Projekt noch auf dem richtigen Weg ist oder ob gegebenenfalls abgebrochen oder eine Phase wiederholt werden muss.

Der Problemlösungszyklus stellt eine strukturierte Herangehensweise zur Lösungsfindung dar und kann in jeder Phase der Systemabwicklung angewandt werden. Die einzelnen Schritte sind

⁴ Bei der Betrachtung der Übergangsfunktion von Input zu Output müssen zuweilen die internen Zusammenhänge betrachtet werden. Dann sprechen Haberfellner und Daenzer (2002) nicht mehr von einer Black-Box, sondern von einer Gray-Box.

Anstoss, Situationsanalyse, Zielformulierung, Synthese von Lösungen, Analyse von Lösungen, Bewertung und Entscheidung.

Die Anwendung von Systems Engineering, wie sie in diesem Abschnitt beschrieben wird, ist allgemeingültig und wird traditionell dokumentenbasiert gestaltet. Das heisst, die gesamten Errungenschaften und Entwicklungen bezüglich des Zielsystems werden mittels Textdokumenten, Tabellen oder Graphiken erstellt.

2.2 Modellbasiertes Systems Engineering

Technische Innovationen beeinflussen nicht nur die Entwicklung neuer Produkte und Systeme, sondern auch die Entwicklung des Systems Engineerings. Die Systeme verändern sich von Produkten, die auf einen bestimmten Zweck ausgerichtet sind, zu Lösungen mit vielfältigen Anwendungsfunktionen, verteilter Nutzung und immer mehr Autonomie. Damit geht auch eine Erhöhung der Komplexität der Systeme, bezogen auf die Architektur, die Anwendungsmöglichkeiten und die Schnittstellen einher (INCOSE, 2007).

Der Reifegrad und der Formalismus von SE haben in der Vergangenheit auch Nachteile hervorgebracht. Die aufwändigen und schwerfälligen Prozesse haben vor allem Unternehmen kleiner oder mittlerer Grösse davon abgehalten, SE bei sich einzuführen. Ebenso fehlen Ansätze im Bereich Lean oder agiler Entwicklung bezogen auf das Systems Engineering. Im dokumentenbasierten SE werden die Informationen über das System vorwiegend in Dokumenten, Plänen, Studien, Analysen oder Reports gesammelt und gespeichert. Es ist zunehmend schwieriger, diese Informationen, welche in unterschiedlichen Dokumenten gespeichert und abgelegt werden, zu unterhalten und synchron zu halten. Somit kann auch die Qualität, bezogen auf die Korrektheit, die Vollständigkeit und die Konsistenz der Daten, nur schwer überprüft und sichergestellt werden (INCOSE, 2007; Walden et al., 2015).

Der modellbasierte Ansatz ist in der Elektronik- und Mechanik-Entwicklung seit langem ein Standard. Durch die Entwicklung der Unified Modelling Language hat die Modellierung auch Anwendung in die Softwareentwicklung gefunden. Durch die Weiterentwicklung der Modellierungstechnologien, der Zunahme der Leistungsfähigkeit von Computern und der oben angegebenen Schwierigkeiten hat der modellbasierte Ansatz auch Einzug im Systems Engineering gehalten. Es wird angenommen, dass das modellbasierte Systems Engineering das dokumentenzentrierte Systems Engineering ablösen wird (Friedenthal et al., 2015; INCOSE, 2007).

In der INCOSE Systems Engineering Vision 2020 (INCOSE, 2007) wird das modellbasierte Systems Engineering folgendermassen definiert:

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 (INCOSE, 2007, S. 15).

Beim modellbasiertem Systems Engineering steht das Systemmodell im Zentrum der Betrachtung. Dieses Modell beschreibt die fachübergreifenden Artefakte und inkludiert System-spezifikation, Design, Analysen und Informationen über die Validierung und Verifikation. Modellelemente spezifizieren Anforderungen, Testfälle, Designentscheide, Designelemente und deren Verknüpfungen und Abhängigkeiten. Das Modell beschreibt die Systemstruktur, das Systemverhalten, die Systemparameter und die Verknüpfung mit den Anforderungen (Friedenthal et al., 2015).

Die Anwendung von MBSE stützt sich auf drei wesentliche Säulen (Delligatti, 2014):

- Eine Modellierungsmethode
- Eine Modellierungssprache
- Ein Modellierungswerkzeug

Die Personen, die ein integriertes Systemmodell erstellen, benötigen ein Modellierungswerkzeug, um die durch die Methode definierten Designaufgaben und Artefakte zu erfüllen. Gleichzeitig können diese Elemente nur in das System eingefügt werden, wenn eine entsprechende Sprache vorhanden ist, welche auch standardisiert ist.

Diese drei Säulen werden in den folgenden Abschnitten näher betrachtet. Um eine klare Abgrenzung der Begrifflichkeiten zu erreichen werden die Bezeichnungen Methode, Prozess und Werkzeug definiert. Gerade diese Begriffe werden immer wieder unterschiedlich verwendet und daher wird im Folgenden die Definition von Martin (1997) verwendet.

- **Ein Prozess** ist eine logische Sequenz von Aufgaben, um ein bestimmtes Ziel zu erreichen. Er definiert das „WAS“ ohne das „WIE“ für die Lösung der Aufgaben zu spezifizieren.
- **Eine Methode** besteht aus Techniken, mit welchen eine Aufgabe erledigt wird. Das „WIE“ eine Fragestellung gelöst wird.
- **Ein Werkzeug** ist ein Instrument, welches die Effizienz der Aufgabenerledigung mit einer entsprechenden Methode erhöhen kann.

2.2.1 Methoden

Damit MBSE in einem Unternehmen und in Entwicklungsprojekten angewandt werden kann, ist es sinnvoll, eine standardisierte Methode einzusetzen. So wird sichergestellt, dass MBSE durchgängig verwendet und in allen Projekten vergleichbar angewandt wird. Die MitarbeiterInnen in den Projekten lernen so die spezifisch im Unternehmen definierte Methode kennen und können sie im nächsten Projekt ohne erneuten Lernaufwand wieder anwenden.

Friedenthal et al. (2015) definiert «MBSE Methode» als eine Methode, welche alles oder Teile des Systems Engineering Prozess implementiert und ein Systemmodell als primäres Artefakt liefert.

Estefan (2008) hat die bis zum Zeitpunkt der Veröffentlichung seines Berichts bekannten MBSE Methoden kurz beschrieben, ohne jedoch ein Assessment durchzuführen. The OMG⁵ betreibt ein MBSE-Wiki, auf welchem die aktuellen Methoden und Metriken dokumentiert sind (OMG, o.D.). Sie umfasst die von Estefan (2008) beschriebenen Methoden und noch weitere, welche nach 2008 veröffentlicht wurden. Für die einzelnen Methoden sind Details und entsprechende Literatur angegeben. 2018 wurde eine zusätzliche Methode, das MagicGrid, veröffentlicht (Aleksandraviciene & Morkevicius, 2018; Morkevicius, Aleksandraviciene, Mazeika, Bisikirskiene & Strolia, 2017). Um dem Leser die Übersicht über die MBSE-Methoden zu erleichtern, sind in Tabelle 2-1 die Titel der Methoden, die Hauptautoren und eine Literaturangabe für einen ersten Überblick aufgelistet.

Methoden	Hauptautor / Firma	Referenz
Alstom ASAP methodology	Marco Ferrogali	Ferrogali und Le Bastard (2012)
An Ontology for State Analysis: Formalizing the Mapping to SysML	Jet Propulsion Laboratory	Wagner et al. (2012)
Arcadia, a model-based engineering method	Jean-Luc Voirin Polarsys / Capella	Voirin (2017)
CONSENS (<u>C</u> ONceptual design <u>S</u> pecification technique for the <u>E</u> ngineering of mechatronic <u>S</u> ystems)	Heinz Nixdorf Institut	Iwanek, Kaiser, Dumitrescu und Nyssen (2013)
Dori Object-Process Methodology (OPM)	Dov Dori	Dori (2002)
Fernandez Process Pipelines in OO Architectures (PPOOA)	Jose L. Fernandez	Fernández und Mármol (2008)
IBM Rational Telelogic Harmony-SE	Peter Hoffmann	Estefan (2008)
IBM Rational Unified Process for Systems Engineering (RUP-SE)	Murray Cantor	Cantor (2003)
INCOSE Object-Oriented Systems Engineering Method (OOSEM)	Sanford Friedenthal	Friedenthal et al. (2015)
ISO-15288, OOSEM and Model-Based Submarine Design	Paul Pearce	Pearce und Hause (2012)
Pattern-Based Systems Engineering (PBSE)	William D. Schindel	Schindel und Peterson (2013)

⁵ Die Object Management Group (OMG) ist ein internationales, non-profit Konsortium für technologische Standards. Unter anderem definiert sie auch die Modellierungssprache SysML (<https://www.omg.org/>).

Methode	Hauptautor / Firma	Referenz
JPL State Analysis (SA) Methodology	Robert D. Rasmussen	Estefan (2008)
Systems Modeling Toolbox (SYSMOD)	Tim Weilkiens	Weilkiens (2016)
Vitech Model-Based Systems Engineering (MBSE) Methodology	James E. Long	Estefan (2008)
Magic Grid	No Magic	Morkevicius et al. (2017)

Tabelle 2-1: Übersicht über verschiedene MBSE Methoden (in Anlehnung an OMG, o.D.)

Stellvertretend für alle in Tabelle 2-1 aufgelisteten Methoden wird die SYSMOD-Methode in einer stark verkürzten Form dargestellt (Weilkiens, 2014, 2016). Die Systems Modelling Toolbox (SYSMOD) behandelt drei Artefakte, die SYSMOD-Produkte, die SYSMOD-Methode und die SYSMOD-Rollen. An dieser Stelle wird nur auf die Methode eingegangen, respektive auf die zwei Hauptprozesse SYSMOD-Analyseprozess und SYSMOD-Architekturprozess, welche einen typischen Ablauf der SYSMOD-Methode erklären. Die beiden SYSMOD-Prozesse sind in einer vereinfachten Form in Abbildung 2-4 dargestellt.

Der SYSMOD-Analyseprozess generiert die Artefakte und Resultate, die für die Erstellung der Architektur benötigt werden und umfasst die folgenden Aktivitäten:

- Beschreibung der System Ideen und Ziele, um alle beteiligten Personen auf denselben Informationsstand zu bringen und die richtigen Entscheidungen treffen zu können.
- Identifikation der Stakeholder, welche ein Interesse am oder spezifische Anforderungen an das System haben.
- Beschreibung der Basisarchitektur, damit die abstrakten Anforderungen und die grundlegenden technischen und architektonischen Entscheidungen vorgegeben werden.
- Modellierung der Anforderungen, um eine Art Vertrag zwischen dem Systems Engineer und dem Auftraggeber oder der Auftraggeberin zu formulieren.
- Systemkontext identifizieren, damit alle Benutzer und externen Systeme, welche mit dem zu entwickelnden System interagieren, festgelegt werden.
- System-Use Cases identifizieren, um alle Funktionen oder Serviceleistungen des Systems für die NutzerInnen oder Stakeholder zu definieren.
- Use Cases Aktivitäten modellieren, um den Ablauf, den Datenfluss und die Zusammenhänge der Systemfunktionen mit den Stakeholdern abzustimmen.
- Systemprozesse identifizieren, um die logischen Abläufe der einzelnen System-Use Cases festzulegen.
- Domänenwissen modellieren, damit die Semantik und die Struktur der Domänenobjekte für alle Beteiligten definiert sind.

Diese Aktivitäten stehen miteinander in Beziehung, da Informationen ausgetauscht und weiterverwendet werden. In der Umsetzung werden diese Aktivitäten nicht linear durchlaufen, sondern können immer wieder aufgenommen und die Informationen ergänzt werden.

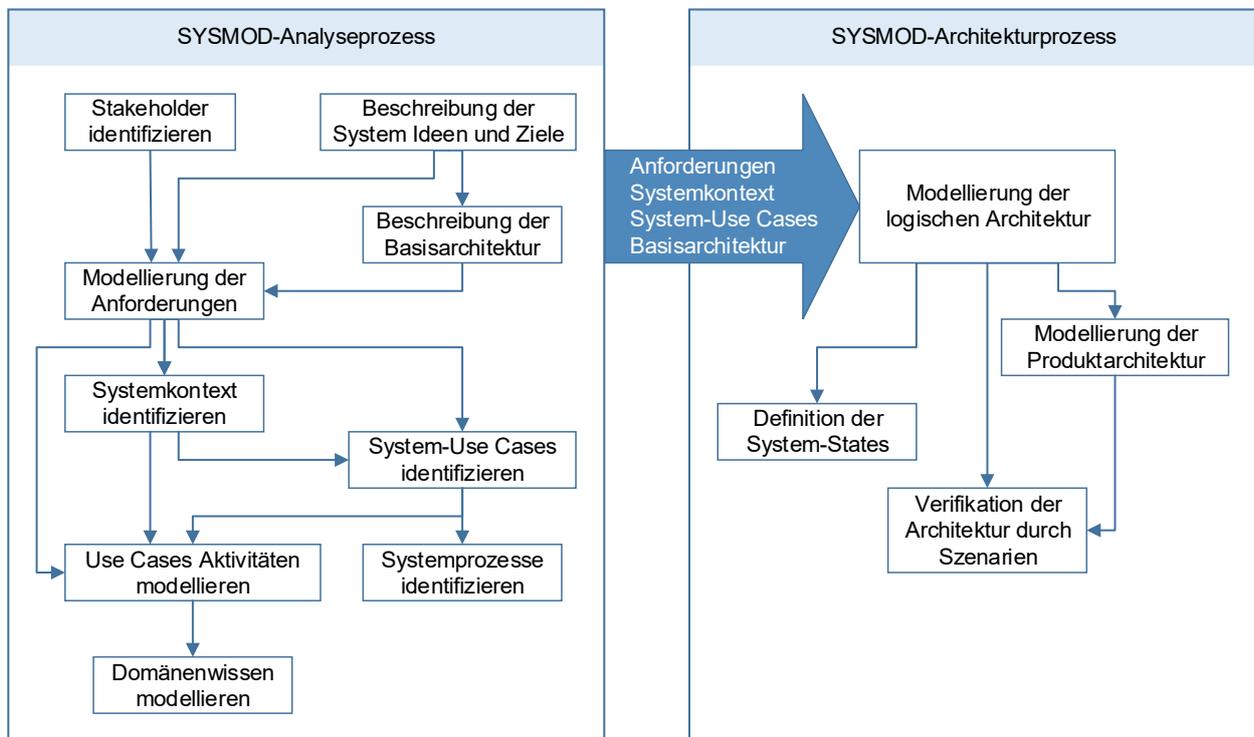


Abbildung 2-4: Vereinfachte Darstellung der beiden SYSMOD-Prozesse (in Anlehnung an Weilkiens, 2016)

Der SYSMOD-Architekturprozess umfasst die folgenden Aktivitäten:

- Modellierung der logischen Architektur, welche das technische Konzept und das Prinzip des Systems darstellt.
- Die Modellierung der Produktarchitektur stellt die konkrete Spezifikation der Architektur des Systems im Modell dar.
- Verifikation der Architektur durch Szenarien, die mittels einer Analyse bezogen auf die System-Use Cases gemacht wird und alle Teile, Interfaces und die Struktur überprüft.
- Die Definition der System-States ermöglicht die Definition der Zustände und der Zustandsübergänge des Systems.

Bei der oben angeführten Betrachtung wurde die funktionale Architektur nicht berücksichtigt. Diese könnte als zusätzlicher Einflussfaktor auf die logische Architektur verwendet werden.

Bei der Einführung von MBSE in einem Unternehmen ist es sinnvoll, sich in einem ersten Schritt auf eine Methode zu beschränken. Diese Methode soll auf die eigenen Bedürfnisse und Gegebenheiten angepasst werden. Es kann hilfreich sein, in einem zweiten Schritt andere Methoden zu betrachten, um Lücken zu identifizieren und zu schliessen.

Weilkiens, Scheithauer, Di Maio und Klusmann (2016) schlagen ein Framework für die Evaluation von MBSE-Methodologien für Praktiker vor. Dieses Framework basiert auf einem vordefinierten Katalog an Kriterien zur Bewertung der einzelnen Methoden und der Spezifikation eines

Evaluationsprozesses. Dieser Ansatz unterstützt Organisationen und Einzelpersonen, die interessiert sind, MBSE anzuwenden, bei der Auswahl der Methode, welche am besten ihren Bedürfnissen entspricht.

Aus den Methodenbeschreibungen ist nicht ersichtlich, wie die Einführung und Umsetzung gemacht werden. Diese sollten im Rahmen des Einführungsprozesses, wie im Abschnitt 2.3 beschrieben, umgesetzt werden.

2.2.2 Modellierungssprachen

Für die Erstellung eines Modells wird eine spezifische Modellierungssprache benötigt, da dies nicht mit der natürlichen Sprache gemacht werden kann. So eine semiformale Sprache definiert die Elemente, die im Modell verwendet werden können und die Beziehungen zwischen den Elementen. Für das modellbasierte Systems Engineering wird eine graphische Notation verwendet und daher spezifiziert die Sprache auch die erlaubte Notation der Elemente und Beziehungen (Delligatti, 2014, S. 5).

Das SEBoK (2014) listet die folgenden Modellierungssprachen auf:

- Functional Flow Block Diagram (FFBD)
- Integration Definition for Functional Modeling (IDEF0)
- Object-Process Methodology (OPM)
- Systems Modeling Language (SysML)
- Unified Profile for United States Department of Defense Architecture Framework (DoDAF) and United Kingdom Ministry of Defense Architecture Framework (MODAF)
- Web Ontology Language (WOL)

Die «Functional Flow Block Diagrams» wurden in den 1950er Jahren entwickelt und waren für viele Jahre die klassische Repräsentation von SE. Sie beschreiben den Fluss von Systemfunktionen durch eine schrittweise Sequenz, basierend auf einer Funktionshierarchie. 1993 hat das National Institute of Standards and Technology (NIST) die graphische Notation «Integration Definition for Function Modeling» (IDEF0) zur Beschreibung von Aktivitäten und Prozessen entwickelt. Diese veranschaulicht den Datenfluss, die Systemsteuerung und die Funktionsperspektive eines Systems. Die Sprachen «Enhanced FFBD» (EFFBD) und IDEF0 waren in den letzten Jahrzehnten die am meisten verwendeten Modellierungssprachen (Ramos, Ferreira & Barcelo, 2012).

Diese traditionellen Modellierungssprachen, welche auf Ansätzen der funktionalen Zerlegung basieren, werden immer mehr durch neue, objektorientierte Sprachen ersetzt. Die modernen objektorientierten Sprachen haben ihre Herkunft im Software Engineering und sind heute nicht mehr wegzudenken (Ramos et al., 2012).

Die Systems Modelling Language SysML (Object Management Group, 2017a), welche durch die OMG definiert und weiterentwickelt wird, hat sich zu einer wichtigen Modellierungssprache entwickelt (Walden et al., 2015, S. 187). Die SysML entstand 2006 als eine Erweiterung der

Unified Modeling Language UML (Object Management Group, 2017b), welche ursprünglich als Modellierungssprache für Softwaredesign entwickelt und 2007 in einer ersten Version publiziert wurde. Die SysML Spezifikation definiert ein Sprachkonzept für die Anwendung zur Systemmodellierung und wird durch drei Teile beschrieben (Friedenthal et al., 2015, S. 359–360):

- Eine **abstrakte Syntax** (Schema), welche das Sprachkonzept mittels eines Metamodells beschreibt.
- Eine **konkrete Syntax** (Notation), welche die Repräsentierung des Sprachkonzepts definiert und durch Notationstabellen beschrieben wird.
- Die **Semantik** (Bedeutung) des Sprachkonzepts in der Domäne des Systems Engineering.

Da die SysML von der UML abgeleitet wurde, konnte etwa die Hälfte der UML wiederverwendet und übernommen werden. Neben der Beschreibung der SysML im Metamodell gibt es auch eine Definition wie SysML Konzepte als graphische oder textuelle Symbole visualisiert werden. In Abbildung 2-5 sind die unterschiedlichen Diagrammtypen dargestellt. Die SysML spezifiziert neun verschiedene Diagramme, welche mit blauem Hintergrund dargestellt sind (Friedenthal et al., 2015).

In der Einleitung dieses Abschnitts wurde erwähnt, dass das Modell die Systemstruktur, das Systemverhalten, die Systemparameter und die Verknüpfung mit den Anforderungen beschreiben soll. Diese vier Kategorien sind in den Diagrammen wiedererkennbar (Requirements-, Behavior-, Parametric- und Structure-Diagram) und in Abbildung 2-5 mit einer dicken Umrandung dargestellt. Diese vier Kategorien werden auch die 4 Säulen der SysML genannt (Object Management Group, o.D.b).

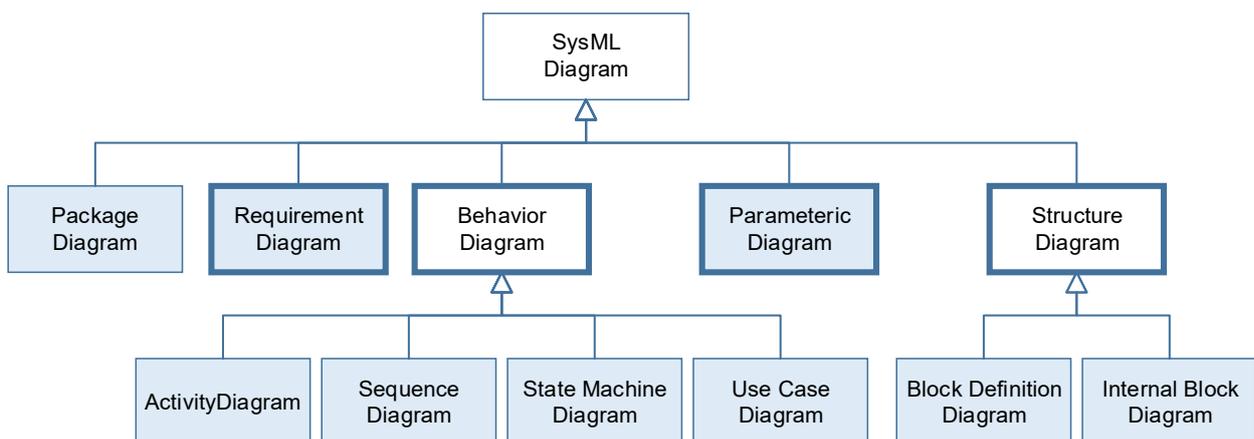


Abbildung 2-5: SysML Diagramm-Taxonomie (in Anlehnung an Friedenthal et al., 2015, S. 90)

Für eine detaillierte und vertiefte Betrachtung der Modellierungssprache wird auf die Norm und das Metamodell der OMG (Object Management Group, 2017a) und auf diverse Fachbücher verwiesen (Alt, 2012; Delligatti, 2014; Friedenthal et al., 2015).

Aktuell arbeitet die OMG an der Version 2.0 der SysML. Der Antrag für die Anforderungen (Request for Proposal) wurde im Dezember 2017 fertiggestellt und veröffentlicht. Die Version 2.0 soll nach mehr als 10 Jahren Verbesserungen in den Bereichen Präzision, Ausdruckskraft und

Verwendbarkeit, basierend auf den Erfahrungen bei der Anwendung von MBSE mit SysML v1, einfließen lassen (Object Management Group, o.D.a).

Im Anhang A ist die Notationsübersicht von SysML v1.3 dargestellt, welche von Tim Weilkiens zur Verfügung gestellt wurde.

2.2.3 Softwarewerkzeug

Um modellbasiertes Systems Engineering umsetzen zu können, ist es notwendig, ein Softwarewerkzeug zu verwenden, in welchem das Modell erstellt werden kann. Die Anzahl der zur Verfügung stehenden Softwarewerkzeuge für die Systemmodellierung ist überschaubar. Es ist festzustellen, dass einige der Modellierungswerkzeuge in den letzten Jahren von Anbietern für Produkt Lifecycle Management Software aufgekauft wurden. Da sich die Landschaft der Softwarewerkzeuge kontinuierlich verändert, sind wenige zuverlässige Quellen verfügbar, welche eine Übersicht zeigen. Tabelle 2-2 listet die aktuellen Werkzeuge auf, wobei kein Anspruch auf Vollständigkeit erhoben wird (Rosenow, 2018; Weilkiens, o.D.).

Bezeichnung	Hersteller	Bemerkungen
Cameo Systems Modeler	Dassault Systems	Der ursprüngliche Anbieter NoMagic dieser Software, wurde 2018 von Dassault aufgekauft. Es handelt sich um ein spezifisches Modellierungswerkzeug.
Capella	PolarSys (Eclipse Working Group)	Capella ist eine Open Source Software, welche frei verfügbar und auf die Methode Arcadia spezialisiert ist.
CORE	Vitech Corporation	Lösung für die Modellierung und Simulation von komplexen Systemen.
Enterprise Architect	Sparx Systems	UML und SysML Modellierungstool für die Software- und Systementwicklung.
Innoslate	SPEC Innovations	Modellierungstool für unterschiedliche Modellierungssprachen, welches auch Simulationen ermöglicht.
Integrity Modeler	PTC	PTC hat 2014 die Firma Atego übernommen und die Produkte Artisan Studio und Atego Modeler in ihre Umgebung integriert. Graphisches Werkzeug für Systems Engineering, das in den PLM Werkzeugen von PTC integriert ist.
Modelio	Modeliosoft	Modellierungswerkzeug mit unterschiedlichen Plugins wie System Architektur oder SysML.
iQUAVIS	ISID Ltd	Kombiniert MBSE-Modellierung mit Projektmanagement, Qualitäts- und Risikomanagement.

Bezeichnung	Hersteller	Bemerkungen
Papyrus	Eclipse	Open Source Systemmodellierungswerkzeug.
Rational Rhapsody	IBM Corporation	Die Firma Telelogic, welche Rhapsody entwickelt hat, wurde 2007 von IBM aufgekauft. Das Werkzeug ist auf die Systementwicklung ausgerichtet und kommt ursprünglich aus der Modellierung von eingebetteten Systemen.
SCADE Architect	ANSYS	SysML basiertes Modellierungswerkzeug.
Visual Paradigm	Visual Paradigm International	MBSE Tool für die Erstellung einer Unternehmensarchitektur, das Projektmanagement und die Software-Entwicklung.

Tabelle 2-2: Übersicht der aktuell bekanntesten Modellierungswerkzeuge

Die Anforderungen an ein MBSE Modellierungstool sind vielfältig und hängen von der Branche und dem Unternehmen selbst ab. Rosenow (2018) hat bei der Auswertung von Interviews die folgenden 5 Top-Anforderungen identifiziert:

- Bedienbarkeit, Anwendbarkeit und Erlernbarkeit
- Interoperabilität eines MBSE-Tools mit anderen Tools
- Mögliche Adaption des Tools an eigene, spezifische Anforderungen
- Integration des MBSE-Tools in eine bestehende (Unternehmens-) Toolkette
- Management von Konfigurationen, Änderungen oder Versionen

Die Anwendung von MBSE ist nur möglich, wenn ein geeignetes Softwarewerkzeug zur Verfügung steht, da dieses das eigentliche (digitale) Modell beinhaltet. Aus diesem Grund kann das Modellierungswerkzeug basierend auf den oben genannten Anforderungen einen wesentlichen Beitrag zum Nutzen liefern. Aus einer entgegengesetzten Perspektive kann man auch formulieren, dass der Nutzen verhindert wird, wenn das Werkzeug den Anwender nicht in geeigneter Weise unterstützt.

2.3 Einführungskonzepte

Die Einführung von MBSE in einem Unternehmen kann nicht ohne die Formulierung einer klaren Strategie und einer zielgerichteten Definition bezogen auf Kompetenzen, Prozesse und Organisation durchgeführt werden (Steffen & Schulze, 2014).

Friedenthal et al. (2015, S. 543–554) beschreiben den Einführungsprozess von MBSE und skizzieren einen kontinuierlichen Verbesserungsprozess, welcher in Abbildung 2-6 dargestellt ist.



Abbildung 2-6: Verbesserungsprozess für die Einführung von MBSE (in Anlehnung an Friedenthal et al., 2015)

Im Kontext dieser Arbeit sind vor allem die Prozessschritte «Pilotprojekt durchführen», «Überwachen und bewerten» und «Verbesserungen planen» wichtig, denn in diesen Phasen wird der Nutzen von MBSE am klarsten sichtbar. Es ist zu berücksichtigen, dass im Schritt «Veränderungen definieren» jeweils der Startpunkt für eine Verbesserung des Nutzens gesetzt wird.

Leider geben die Autoren für die Bewertung keine konkreten Metriken an, sondern nur allgemeine Hinweise. Für die Infrastruktur sind Themen wie Modellierungskompetenz, Methoden, Tools und Training zu berücksichtigen. Im Bereich der Einführung wären Messgrößen wie Anzahl und Anteil von geschulten Personen wichtig. Der Wert von MBSE kann über inkrementelle Messung von Produktivität und Qualität und über reduzierte Zeit für die Umsetzung von Anforderungsänderungen durchgeführt werden. Daraus lassen sich Indikatoren für die Auswirkungen der Einführung von MBSE auf Projektkosten, Zeitplan, technische Leistungsfähigkeit und Risiken ableiten.

Wenn mit einer Einführungsinitiative gestartet wird, dann sollte diese gut geplant und ein phasenbasierter Ansatz gewählt werden, um die Änderungen inkrementell einzuführen. Nicht zu vergessen, dass die Einbindung der Stakeholder bei diesem Schritt enorm wichtig ist. Der nächste Punkt «Veränderung definieren» umfasst Prozess, Methode, Werkzeuge und Schulungen (Methode, Sprache und Softwarewerkzeug). Ein Pilotprojekt ist gut geeignet, um erste Umsetzungen zu realisieren und sich mit der konkreten Einführung von Lieferobjekten, der Erreichung von Zielen, dem Erstellen von Rollen und der Definition von Verantwortlichkeiten auseinander zu setzen. In diesem Kontext könnten Metriken erstellt und weiterverfolgt werden. Als letzter Punkt in diesem Zyklus ist die inkrementelle Umsetzung der neuen Erkenntnisse, Prozesse und Methoden in die laufenden Projekte zu nennen.

Die Analyse des Nutzens und des Fortschritts kann mit diesem Ansatz periodisch durchgeführt werden und es ermöglicht eine kontinuierliche Steuerung und Adaption des Einführungsprozesses. Nun müssen geeignete Bewertungskriterien erarbeitet werden.

2.4 Nutzenpotenzial aus der Standardliteratur

In der Standardliteratur über MBSE wird der Nutzen und der Wert sehr generisch angegeben. Die Liste der möglichen Nutzenpotenziale mit detaillierten Erläuterungen ist in Tabelle 2-3 dargestellt (Friedenthal et al., 2015, S. 20; Kleiner & Husung, 2016; Walden et al., 2015, S. 189).

Bereich	Detaillierter Nutzen
Verbesserte Kommunikation	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Gemeinsames Verständnis des Systems im Entwicklungsteam und mit den Stakeholdern ▪ Möglichkeit, das System aus unterschiedlichen Perspektiven darzustellen ▪ Zwischen Systemingenieuren und den Vertretern aus den Fachdisziplinen
Erhöhte Fähigkeiten Gesamtsysteme zu managen und die Produktivität zu steigern	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Schnellere Einflussanalyse von Anforderungs- oder Design-Änderungen ▪ Effektivere Gap- und Performance-Analysen ▪ Reduktion von Fehlern und Zeit während der Integration und des Testens ▪ Automatische Generierung von Dokumentation
Verbesserte Produktqualität durch die Verwendung eines eindeutigen und präzisen Modells	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Vollständigere, verbindlichere, eindeutigere und überprüfbare Anforderungen ▪ Strengere Rückverfolgbarkeit (Traceability) von Anforderungen, Design, Analyse und Testen ▪ Verbesserte Designintegrität
Verbesserte Wissenserfassung und Wiederverwendung von Informationen	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Wiederverwendung von Modellen für Designevolution ▪ Verbesserter Wissenstransfer ▪ Aufnahme von aktuellen und früheren Designs ▪ Effizienter Zugriff auf und Änderungsmöglichkeit von Informationen
Reduktion von Entwicklungsrisiken	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Laufende Anforderungvalidierung und Designverifikation ▪ Verbesserte Kostenschätzung für die Systementwicklung ▪ Frühzeitige Bewertung und Absicherung von Konzepten

Bereich	Detaillierter Nutzen
Nutzung der Modelle über den gesamten Lebenszyklus	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Unterstützung von System-Diagnose und -Wartung ▪ Unterstützung des Bedieners bei der Nutzung des Systems
Management von Komplexität	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Virtualisierung der Produktabsicherung oder Dokumentation der Entscheidungsfindung und dabei das Zusammenspiel von Disziplinen, Prozessen, Methoden und Tools optimieren ▪ Verwendung von Simulationen, um komplexe Abläufe und Zusammenhänge bereits in einer frühen Projektphase zu validieren

Tabelle 2-3: Nutzenpotenziale von MBSE

Das heute identifizierte Nutzenpotenzial wird in Zukunft sicher durch neue und visionäre Technologien, wie künstliche Intelligenz, Deep Learning oder andere, erweitert werden. Es ist vorstellbar, dass Modell-Analysen, -Verifikationen oder -Abfragen mittels künstlicher Intelligenz unterstützt werden.

Es darf nicht vergessen werden, dass die Einführung von MBSE nicht ohne Kosten und Aufwand durchgeführt werden kann. Aber gerade, wenn einige in Tabelle 2-3 angegebene Punkte realisiert und nachgewiesen werden, kann MBSE zu einem Vorteil gegenüber der Konkurrenz werden.

3 DEFINITION VON NUTZEN IN DER PRODUKT-ENTWICKLUNG

Diese Arbeit setzt sich mit der Frage des Nutzens von modellbasiertem Systems Engineering auseinander. Bevor dieser Fragestellung nachgegangen werden kann, wird der Begriff „Nutzen“ in Bezug zum Produktentwicklungsprozess definiert, um ein einheitliches Verständnis zu schaffen.

Wenn sich ein Unternehmen mit der Frage bezüglich der Einführung vom MBSE auseinandersetzt, wird gleichzeitig die Frage gestellt, ob sich die Investitionen lohnen. Schabacker (2001) beschreibt den Ablauf einer Investitionsentscheidung wie in Abbildung 3-1 dargestellt. Zuerst wird das Ziel der Investition festgelegt und dann über eine Ist-Analyse das Soll-Konzept erstellt. Die Entscheidungsphase besteht aus der Kosten- und Nutzensicht, auf welche eine Wirtschaftlichkeitsrechnung für den Investitionsentscheid erfolgt.

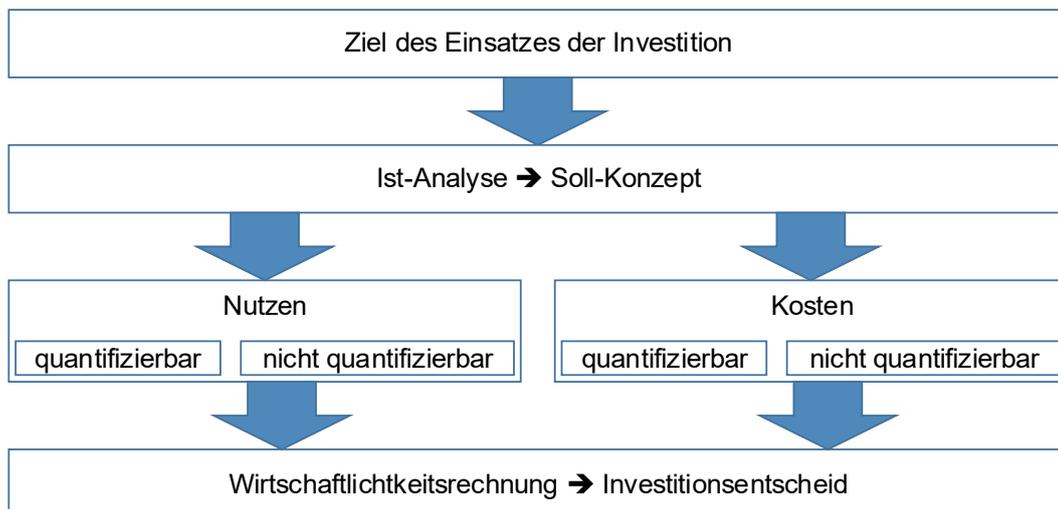


Abbildung 3-1: Ablauf einer Investitionsentscheidung (in Anlehnung an Schabacker, 2001, S. 14)

In dieser Arbeit liegt der Fokus sowohl auf dem quantifizierbaren, als auch auf dem nicht quantifizierbaren Nutzen. Es wird vorausgesetzt, dass das Ziel der Investition die Einführung von MBSE ist. Auf die Wirtschaftlichkeitsrechnung, den Investitionsentscheid, sowie die Ist-Analyse wird nicht im Detail eingegangen. Wie in den Forschungsfragen definiert, sind Voraussetzungen und Hindernisse zu betrachten. Diese können in den Bereichen «Soll-Konzept» oder «Kosten» beinhaltet sein. Dementsprechend werden diese beiden Themen beim Beantworten der Forschungsfragen berücksichtigt.

Wie oben dargestellt hängt der Nutzen direkt mit der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung zusammen und beinhaltet gleichzeitig die zu tätigenen Aufwände. Schabacker (2001, S. 23) beschreibt Wirtschaftlichkeit als ein ökonomisches Prinzip, welches einen bestimmten Erfolg mit geringstmöglichem Einsatz (Minimalprinzip), beziehungsweise mit einem bestimmten Mitteleinsatz den

grösstmöglichen Erfolg (Maximalprinzip) erzielt. Er setzt den Begriff Nutzen gleich mit dem Begriff Leistung und definiert die Wirtschaftlichkeit in Funktion des Nutzens folgendermassen:

$$\text{Wirtschaftlichkeit} = \frac{\text{Nutzen}}{\text{Kosten}} \quad (3.1)$$

Die Einführung neuer Ansätze ist mit Prozess- und Organisationsveränderungen im Unternehmen verbunden. Die daraus resultierende Wirkung des unterschiedlichen Nutzens muss erfasst werden, damit die Wirtschaftlichkeit sichtbar wird. Beispielsweise entstehen bei der Anwendung von CAD Systemen neue Tätigkeiten, welche bis anhin nicht existierten. Daher kann kein Vergleich mit bestehenden Vorgehensweisen erfolgen und damit ist eine direkte Nutzenermittlung unmöglich (Schabacker, 2001).

Schabacker (2001) weist darauf hin, dass der Nutzen bei der Einführung einer neuen Technologie oder einer neuen Methode sehr weit gestreut ist. Klassisch fokussiert die Nutzenerfassung auf die Bereiche «Kosten senken», «Qualität verbessern» und «Zeiten verkürzen». Er stellt fest, dass diese Forderungen in Wechselwirkung zu den Prozessen in der Produktentwicklung und dem Umfeld (Mitarbeiter/Mitarbeiterinnen, Kunden/Kundinnen, etc.) stehen und es zu Überlappungen kommt, wie zum Beispiel eine Kostensenkung durch eine Zeitverkürzung. Die Definition von Nutzenkategorien hilft bei der Zuordnung und dem Verständnis der unterschiedlichen Arten von Nutzen. Die Nutzenkategorien, bezogen auf SE und MBSE, werden in Abschnitt 4.3 definiert.

Sheard (1996b) definiert vier unterschiedliche Typen von Nutzen im Kontext der Analyse der unterschiedlichen Rollen im Systems Engineering. Sie weist darauf hin, dass es wichtig ist, den Nutzen von indirekter Arbeit zu erkennen. In ihrer Publikation verwendet sie den englischen Begriff «Value», welcher hier als Nutzen übersetzt wird. Die vier Nutzentypen definiert sie folgendermassen:

1. **Direkte Arbeiten:** Aktivitäten und Arbeiten, welche direkten Einfluss auf das Endprodukt für den/die KundInnen haben. Diese Arbeiten verändern das Produkt in einer Weise, dass es für den/die AnwenderInnen direkt sichtbar ist.
2. **Leiten:** Strukturierung der Arbeit und des Ablaufes. Projekte müssen immer noch gut organisiert, geplant und kontrolliert werden. Wenn dies die Effizienz und die Effektivität der direkten Arbeit (siehe 1.) steigert, dann wird Nutzen generiert.
3. **Definition des Problems:** Auch wenn das Produkt durch die Anforderungen definiert ist, dann besteht immer noch das Problem der Definition, wie das Produkt entwickelt wird. Definition einer Vision und Führen der Mitarbeiter und Mitarbeiterinnen sind darin enthalten. Es müssen fortlaufend Entscheidungen getroffen werden, was zuerst angegangen wird und wie die Resultate zusammengeführt werden. Die Führung verbessert die Effizienz und die Effektivität des Leitens (siehe 2. Leiten) und manchmal die direkte Arbeit (siehe 1. Direkte Arbeiten).
4. **Reduktion von Risiko:** Die Wichtigkeit einer Risikobetrachtung hängt von Kontext des Produktes und der Anwendung ab. Wenn die Minimierung von Risiken wichtig ist, dann steigt der Bedarf nach Systemanalysen. Diese können durch Simulationen mit Modellen durchgeführt werden, bevor Geld in die Entwicklung eines möglicherweise falschen

Systems investiert wird. Wenn Prototypen kostengünstig gebaut werden, können aufwändige Analysen gespart werden. Falls ein falsches System durch einfache Änderungen in ein passendes System überführt werden kann, wieso soll dann modelliert werden?

Die Aktivitäten im Bereich von SE beinhalten Elemente von allen dieser vier Typen (Sheard, 1996b). Damit gibt es verschiedene Arten von Nutzen, die nicht direkt am Endprodukt sichtbar sind, sondern sich indirekt auswirken.

Dies korreliert mit der Definition von Nutzenklassen, wie sie Schabacker (2001) in seiner Arbeit ausführt:

- **Direkter quantifizierbarer Nutzen:** Dieser Nutzen führt zu einer direkten und quantifizierbaren Verbesserung. Als Beispiel wird die Verkürzung der Zeichnungserstellungszeiten bei einer rechnerunterstützten Variantenkonstruktion bei der Einführung eines CAD/CAM-Systems angeführt. In Kontext von SE könnte ein Beispiel die Zeitersparnis bei der Erstellung von Abläufen mittels Ablaufdiagrammen sein, indem die einzelnen Aktionen und Datenblöcke mehrfach wiederverwendet werden können.
- **Direkt schwer quantifizierbarer Nutzen:** Dieser Nutzen hat eine direkte positive Wirkung innerhalb seines Einsatzbereichs, ist jedoch nur schwer oder gar nicht quantifizierbar. Ein Beispiel ist die Erhöhung der Qualität der erzeugten Unterlagen durch den Einsatz eines neuen CAD/CAM-System oder die Flexibilität bei Änderungen. Auch im SE kann eine Erhöhung der Qualität zum Beispiel im Bereich der eindeutigen Definition von Abläufen erreicht werden.
- **Indirekt quantifizierbarer Nutzen:** Dieser Nutzen wird erst später sichtbar und liefert den sogenannten quantifizierbaren Sekundärnutzen. Zum Beispiel kann der zeitliche Aufwand für eine NC-Programmierung durch die Einführung eines CAD/CAM-Systems reduziert werden, indem die digitalen Geometriedaten in die Arbeitsvorbereitung weitergegeben werden. Dasselbe gilt für SE, wenn zum Beispiel Zeit durch die Wiederverwendung von Anforderungen und Testdefinitionen im nächsten Projekt eingespart werden kann.
- **Indirekt schwer quantifizierbarer Nutzen:** Dieser Nutzen ist ebenfalls ein Sekundärnutzen und kommt erst später zum Tragen, ist aber nur schwer oder überhaupt nicht quantifizierbar. Die Reduzierung der Lagerkosten durch eine erhöhte Standardisierung kann als Beispiel angeführt werden. Im Bereich SE könnte die klare Semantik der Sprache SysML einen Nutzen in der Kommunikation bringen, da alle Beteiligten dasselbe Verständnis haben. Dies könnte bei einem Folgeprojekt mit neuen Personen, die das Vorgängersystem nicht kennen, zu Zeitersparnis führen.

Die Definition der «direkten Arbeiten» bezeichnet einen Nutzen des Endkunden und hat somit keinen direkten Bezug zum Nutzen, welcher durch die Anwendung von MBSE erreicht werden soll. Der «direkt quantifizierbare Nutzen» kann mit Definition von «Leiten» verglichen werden, da es sich bei dieser Betrachtung um Effizienz und Effektivität handelt, welche zum Beispiel über Zeit oder Kosten gemessen werden kann. Der Nutzen von «Definition des Problems» und «Reduktion des Risikos» kann sich sowohl im «direkt schwer quantifizierbare Nutzen» oder in

den beiden Klassen des «indirekten Nutzens» äussern. Die Auswirkungen einer Risikoanalyse oder einer Entscheidung können sich zum Beispiel erst zu einem viel späteren Zeitpunkt zeigen.

Es stellt sich die Frage, wie kann ein direkter Nutzen identifiziert werden. Es hat sich gezeigt, dass es für die Identifikation eines Nutzens hilfreich ist, eine Basis zu schaffen gegen die verglichen werden kann. Das bedeutet, es müssen aktuelle Probleme oder Fragestellungen im heutigen Systementwicklungsprozess identifiziert werden, um sagen zu können, dass MBSE einen Nutzen bringt. Nur durch einen Vergleich kann erkannt werden, ob sich etwas verbessert hat und daher einen Nutzen bringt (Steffen, Enge, Schulze & Czaja, 2016).

Im Kontext dieser Arbeit wird generell von einem Nutzen gesprochen, wenn Kosten gesenkt, Qualität verbessert oder Zeiten verkürzt werden können. Dies kann sich direkt oder indirekt durch die effiziente und effektive Lösung von aktuellen Problemen, die Verbesserung von Prozessen oder Abläufen, durch eindeutige Kommunikation und die bessere Zusammenarbeit von Menschen äussern. Es ist wichtig zu unterscheiden, ob der Nutzen quantifizierbar ist oder nicht. Beide Arten von Nutzen haben einen positiven Einfluss auf das Unternehmen oder bei der Durchführung von Projekten. So wird zum Beispiel durch das Vermeiden von Missverständnissen mögliche doppelte Arbeit vermieden.

Im folgenden Kapitel wird der Nutzen von MBSE anhand einer Literaturrecherche analysiert und bestimmten Kategorien zugewiesen.

4 NUTZEN VON MODELLBASIERTEM SYSTEMS ENGINEERING

Dieses Kapitel setzt sich mit dem Stand der Forschung bezüglich des Nutzens von MBSE auseinander, wobei dabei auch immer der Nutzen von SE berücksichtigt und betrachtet wird. In Abschnitt 2.4 wurde das Nutzenpotenzial auf einer generischen und allgemeinen Ebene besprochen. In diesem Kapitel wird auf spezifische Analysen aus der Literatur eingegangen und versucht, diese verschiedenen Nutzenkategorien zuzuweisen und so eine Klassifizierung zu erreichen.

Im ersten Abschnitt wird das methodische Vorgehen der Literaturrecherche erläutert. Damit der Nutzen von MBSE überhaupt einsetzen kann, müssen Hindernisse und Herausforderungen zum Beispiel bei der Einführung überwunden werden. Dieser Sachverhalt wird im zweiten Abschnitt dargestellt.

Der dritte Abschnitt widmet sich den Ansätzen für eine Klassifizierung und analysiert Bereiche, in welchen MBSE einen Nutzen bringen könnte. Der darauffolgende vierte Abschnitt beinhaltet die Literaturrecherche und analysiert den Stand der Technik.

Die Frage nach dem Nutzen stellt sich auch in anderen Bereichen der Produktentwicklung, wie Projektmanagement oder Produkt Lifecycle Management (PLM). Daher widmet sich der fünfte Abschnitt einer Diskussion von Nutzen in angrenzenden Disziplinen und Themen, um Synergien und Analogien aufzuzeigen.

Abgeschlossen wird dieses Kapitel mit einer Reflexion der besprochenen Literatur.

4.1 Methodisches Vorgehen und Identifikation der relevanten Literatur

Um die Fülle an Informationen und Publikationen im Bereich des Nutzens von MBSE meistern zu können, wurde die Literatursuche systematisch angegangen, indem die Onlinequellen und Bibliotheken im Voraus selektiert und die Suchbegriffe definiert wurden. Als primäre Quellen für die Suche wurden wissenschaftliche Suchmaschinen, die Web-Seite der INCOSE, die Portale diverser Verlage wie Wiley oder Springer und Online-Bibliotheken wie Ebook Central verwendet. Als guter Quellenlieferant haben sich auch die Publikationen der «International Conference on Systems Engineering» der INCOSE und des «Tag des Systems Engineering» der GfSE⁶ erwiesen.

Um den Suchbereich einzugrenzen, wurden Schlagworte, welche direkten Bezug zur Aufgabenstellung haben, vorgängig definiert. Dabei wurden Begriffe wie Einführung, Nutzen,

⁶ GfSE ist die Gesellschaft für Systems Engineering. Sie vertritt die INCOSE als German Chapter im deutschsprachigen Raum und fördert als gemeinnützige Organisation Wissenschaft und Bildung im Bereich des Systems Engineering in Industrie, Forschung und Lehre (<https://www.gfse.de/ueber-die-gfse/gfse-e-v-und-systems-engineering.html>).

Wert, Rechtfertigung, kombiniert mit MBSE und SE, sowohl in abgekürzter, als auch in ausgeschriebener Form verwendet. Weitere Suchbegriffe waren Reifegradmodell, Business Case oder Messung von Erfolg in Bezug zu MBSE oder SE. Die Suche wurde mit deutschen und englischen Begriffen durchgeführt.

Anhang B gibt eine Übersicht der im Wesentlichen genutzten Online-Bibliotheken und der verwendeten Suchbegriffe.

4.2 Empfehlungen für die Einführung

Der kulturelle Widerstand gegenüber der Anwendung von MBSE wird als eine der grössten Herausforderungen für eine erfolgreiche Einführung in den Entwicklungsprozess angesehen (Carroll & Malins, 2016; Cloutier, 2015; Madini & Sievers, 2018).

Als Resultat der Arbeit von Carroll und Malins (2016) bezüglich der Rechtfertigung von modellbasiertem Systems Engineering ergibt sich eine Liste von Empfehlungen für die erfolgreiche Einführung und Anwendung. Dabei wird zwischen Voraussetzungen und Unterstützung unterschieden.

Die Voraussetzungen werden folgendermassen formuliert:

- Reifer und gut dokumentierter Systems Engineering Prozess, angefangen beim Anforderungsmanagement bis zur System-Qualifikation.
- Ausgebildete Systemingenieure mit zumindest moderaten Kompetenzen in MBSE-Tools und -Techniken, wobei die MBSE-Rollen klar definiert und gegenüber den traditionellen Rollen abgegrenzt sind.
- Das Unternehmen muss dem Entwicklungsteam ein Basis-Training des MBSE-Prozesses und dem Lesen von MBSE-Artefakten ermöglichen, so dass der Wert von Modellen verstanden wird, die Modelle gelesen und Informationen daraus extrahiert werden können.
- Ein Modellmanagement-Prozess muss definiert werden, so dass die Modelle über den gesamten Lebenszyklus aktuell sind und verwendet werden können.
- Es muss ein dediziertes MBSE-Tool eingeführt und entsprechende Anwendungsprozeduren institutionalisiert werden.

Zusätzlich zu den oben genannten Voraussetzungen muss für jedes Programm oder Projekt, in welchem MBSE zur Anwendung kommen soll, die folgenden Zusicherungen gemacht werden

- Das Systemmodell ist die «Single Source of Truth» für die Architektur, die Verbindung von Anforderungen und Design, Test-Koordination und Verifikation & Validierung («Zuerst das Modell ändern und dann das Design»).
- Über das gesamte Projekt dedizierte Ressourcen für
 - die Modellpflege, damit das Modell als Basis für Reviews und Anforderungsverifikation, sowie zur Analyse von Änderungen des Designs verwendet werden kann.

- die Verwendung des Modells als Basis zur Erstellung des Planes zum Testen des Systems und der Systemqualifikation.
- Unterstützung durch eine nachhaltige Software- und IT-Infrastruktur über die gesamte Systemlebensdauer (Lizenzen, zentraler Speicher, Zugriffsmanagement und Versionsmanagement).

Wie oben ausgeführt, müssen die Rollen im Systems Engineering klar definiert werden. Dazu schlagen Hutchison, Wade und Luna (2017) basierend auf der Arbeit von Sheard (1996a) 15 unterschiedliche SE-Rollen vor, welche in drei Kategorien aufgeteilt werden:

- Rollen, die auf das System fokussiert sind, welches entwickelt wird (Concept Creator, Requirements Owner, System Architect, System Integrator, System Analyst, Detailed Designer, V&V Engineer, Support Engineer).
- Rollen, die auf den SE-Prozess und die Organisation fokussiert sind (Systems Engineering Champion, Process Engineer).
- Rollen, die auf das Team fokussiert sind, welches das System entwickelt (Customer Interface, Technical Manager, Information Manager, Coordinator, Instructor/Teacher).

Die Beschreibung der unterschiedlichen Rollen stellt eine gute Basis für die Definition der unternehmensinternen Rollen dar und ermöglicht ein einheitliches Verständnis der Aufgaben und Verantwortlichkeiten.

Knop, Milewski, Völl und Sannwaldt (2016) schlagen die Installation eines System Engineering Office (SEO) als Organisationseinheit in Form einer Stabsstelle, direkt an der Geschäftsleitung angebunden, vor. Damit möchten sie die Einführung und den damit verbundenen Wandel im Unternehmen vollziehen. Das SEO kümmert sich um die vier Haupthandlungsfelder Produkt, Prozesse, Organisation und Mitarbeiterkompetenz. Dazu führen sie innerhalb des SEO eine Matrixorganisation ein mit SE-Prozessverantwortlichen und Senior Systems Engineers auf der einen Achse und Befähiger auf der zweiten Achse. Diese Befähiger koordinieren das neu erarbeitete Wissen, unterstützen die Pilotprojekte im operativen SE und achten auf die richtige Kommunikation bei Änderungsvorhaben. Damit die Veränderung langfristig gelingt, muss das SEO seine Kernaufgaben wahrnehmen und einen kontinuierlichen Lernprozess gewährleisten.

Ergänzend ist zu erwähnen, dass für die Einführung von MBSE ein Paradigmenwechsel notwendig ist. Informationen werden in das gemeinsam genutzte und zentral zugängliche Systemmodell eingetragen und sind dort sofort für alle ModellbenutzerInnen sichtbar. Damit entfällt das manuelle Erstellen von Dokumenten durch einzelne SachbearbeiterInnen. Trotzdem sind Dokumente in Papier- oder elektronischer Form noch nötig, um zum Beispiel Entwicklungsdaten mit internen oder externen Zulieferern auszutauschen. Diese Dokumente werden nicht mehr manuell, sondern semi-automatisch oder automatisch aus dem Systemmodell erzeugt. Dieser Paradigmenwechsel kann nur vollzogen werden, wenn die Unterstützung des Managements zugesichert ist. (Alt, 2012).

Die Einführung von MBSE verspricht einen vielschichtigen Nutzen. Es ist aber zu beachten, dass die Akzeptanz von MBSE von diversen menschlichen, finanziellen, organisatorischen und

technischen Faktoren abhängt. Basierend auf den Erfahrungen aus mehreren Einführungsprojekten definieren Chami, Aleksandraviciene, Morkevicius und Bruel (2018) die «3D MBSE Adoption Toolbox». Sie berücksichtigt die Modellierungssprache, das Modellierungswerkzeug, die Modellierungsmethode und die betroffenen Personen. Die Toolbox setzt sich aus drei Phasen zusammen

- Definitionsphase D1: Definition des Ziels der Einführung von MBSE, Formierung des Teams und Erarbeitung eines Entwicklungs- und Einführungsplanes.
- Entwicklungsphase D2: Entwicklung des MBSE Ansatzes, welcher die Definition von Modellierungsrichtlinien, Werkzeuganpassungen oder Glossary beinhaltet und die Ausbildung des Personals festlegt und vorbereitet.
- Einführungsphase D3: Anwendung des MBSE Ansatzes und Erstellung des Modells.

Diese Toolbox soll Unternehmen die Richtung bei der Einführung weisen.

Passend zur Definitionsphase D1 schlagen Huckriede et al. (2016) vor, den Nutzen des neuen Ansatzes an alltäglichen Beispielen deutlich zu machen. So können die Mitarbeiter und Mitarbeiterinnen miteinbezogen und ein positiver Beitrag zur deren Überzeugung geleistet werden. Ergänzend wird vorgeschlagen, dass spezifische Anforderungen an die MBSE-Methode gestellt und aufgelistet werden.

Ein weiterer Ansatz ist die Identifikation, Bewertung und Spezifikation von MBSE-Use Cases. Damit können dedizierte Bereiche aus dem Entwicklungsprozess ausgewählt und bearbeitet werden. So kann die Anwendung von MBSE spezifisch und in einem überschaubaren Rahmen gemacht werden und die Use Cases werden entsprechend den Bedürfnissen der Organisation ausgewählt. Für jeden identifizierten Use Case wird das zu erreichende Ziel formuliert und gleichzeitig angegeben, was für ein Nutzen erwartet wird. Dies erleichtert die Priorisierung und die Auswahl der Use Cases, welche zuerst implementiert werden. Oft wird mit einfachen Use Cases gestartet, wie zum Beispiel die interdisziplinäre Kommunikation, für welche informelle Sichten auf das Modell genutzt werden können. Um ein klares Verständnis der einzelnen Use Cases zu erreichen, wird jeder Use Case in einzelne Schritte aufgeteilt. Für jeden Schritt wird eine Beschreibung erstellt und angegeben, welche Diagrammtypen und Systemelemente verwendet werden. (Husung, Lindemann, Korobov, Hamester & Kleiner, 2018).

4.3 Ansätze für eine Klassifizierung des Nutzens

Friedenthal et al. (2015) beschreiben mögliche Klassifizierungsmerkmale, respektive Gebiete, in welchem Metriken angewandt werden können:

- Modellierungsteam (Verantwortlichkeiten für die Modellierung ist definiert), Tool evaluiert und ausgewählt, Methode gewählt, Pilotprojekt definiert, periodische Reviews und Updates der Methode und den Richtlinien installiert.

- Das Modell stellt eine exzellente Quelle an Informationen dar, um technische Bewertungen, Kostenabschätzungen, Leistungsanalysen und Risikobewertungen zu vollziehen.
- Kriterien, die prüfen, ob die Ziele der Modellierung erreicht wurden: Konsistenz, Erfüllung der Richtlinien, Vollständigkeit gegenüber der Aufgabenstellung, genügend in Breite, Tiefe und Genauigkeit (Abstraktionslevel); Verständlichkeit.
- Modellbasierte Metriken: Qualität des Designs (z.B. sind alle Requirements befriedigt); Designprozessfortschritt; Aufwand bis zur Fertigstellung (vgl. COSYSMO: Anzahl der Elemente und deren Beziehungen).

Sie fokussieren vor allem auf das Modell und nicht auf andere Bereiche, welche durch die Einführung von MBSE ebenfalls betroffen sind.

Schabacker (2001) beschreibt bei seiner Analyse des Nutzens neuer Technologien in der Produktentwicklung sechs verschiedene Nutzenkategorien:

- Mitarbeiterumfeld
- Servicequalität
- Werkzeugeinsatz
- Prozessperformance
- Produktqualität
- Projektperformance

In Anlehnung an diese Auflistung und die oben angegebenen Punkte, werden die folgenden vier Kategorien bezüglich MBSE für eine Klassifizierung definiert

- Methoden und Prozesse in der Systementwicklung mit Bezug zu MBSE
- Qualität des Systemmodells wie Vollständigkeit und Konsistenz
- Verbesserte Zusammenarbeit der MitarbeiterInnen (Motivation, Konfliktminimierung, etc.) durch die Verwendung des Systemmodells und Artefakten daraus
- Erfolgreiche Produkte in Bezug auf Profitabilität und Kundennutzen

Eine weitere Klassifizierung der Beiträge stellt die Branche dar, in welcher das Unternehmen tätig ist, welches MBSE einführen möchte oder bereits verwendet. Die folgende Liste gibt eine mögliche Auflistung von Branchen an (Gausemeier et al., 2013).

- Gerätehersteller
- Automobilindustrie
- Automatisierungstechnik
- Luft und Raumfahrt
- Maschinen- und Anlagebau
- Rüstungsindustrie

4.4 Literaturreview zum Nutzen von modellbasiertem Systems Engineering

Nutzen von MBSE kann in einer Vielzahl von Varianten und Bereichen sichtbar gemacht werden. In diesem Abschnitt werden unterschiedlichste Untersuchungen in diesem Gebiet besprochen und die Kernaussagen wiedergegeben. Die Bandbreite der Untersuchungen reicht von Erweiterungen in Prozess und Methodik über die Nutzung von Modellen und Artefakten bis zur Profitabilitätssteigerung. Die Gliederung der folgenden Betrachtungen basiert auf dem jeweiligen Hauptfokus der betrachteten Publikation.

Zu beachten ist auch der Literaturreview von Carroll und Malins (2016), welcher sich auf Anwendungsstudien aus den Branchen Rüstung, Raumfahrt und komplexer Produktentwicklung fokussiert. Die Untersuchungen berücksichtigten Studien mit und ohne Metriken. Sie kamen zum Schluss, dass die Projekt-Performance durch SE und MBSE gesteigert und Mehraufwände für Nacharbeit reduziert werden konnten, sofern beachtet wird, dass MBSE ganzheitlich angewandt wird und die Ingenieure/Ingenieurinnen entsprechende Fähigkeiten haben.

4.4.1 Methoden und Prozesse in der Systementwicklung mit Bezug zu MBSE

Die im Folgenden betrachteten Untersuchungen fokussieren auf Methoden und Prozesse in der Systementwicklung, welche einen direkten Bezug zu Model-Based Systems Engineering haben.

Madini und Sievers (2018) beschreiben eine Erweiterung des Entwicklungsprozesses, bei welchem Testfälle der aktuellen Iteration als Regressionstests in der folgenden Iteration verwendet werden. Dadurch wird erreicht, dass das Resultat jeder Designiteration geprüft wird, bevor zur nächsten Iteration übergegangen wird. Im angeführten Beispiel eines Distanzmessers für GolferInnen wird klar, dass der Designfluss soweit bekannt und unverändert ist. Eine wesentliche Änderung ist jedoch, wie Probleme und Lösungen erarbeitet werden. Damit einhergehen die verbesserten Sichten auf die unterschiedlichen Artefakte und die Möglichkeit zu erkennen, in welcher Abhängigkeit sie stehen. Durch die Verwendung von passenden Softwarewerkzeugen können heterogene Aspekte des Systems im Modell bearbeitet, verändert und verhandelt werden und gleichzeitig ist sichergestellt, dass die Sichten auf das Modell für alle Beteiligten aktuell sind.

Eine etwas andere Erweiterung der Verwendung von MBSE schlagen Tommasi und Vacca (2014) vor. Sie sehen in der Erweiterung des traditionellen PLM Frameworks mit SE- und MBSE-Methoden eine Vervielfachung der typischen Vorteile wie verbesserte Produktqualität, reduziertes Time-to-Market und Anzahl erfolgreicher Produkteinführungen.

Steffen et al. (2016) sehen in der Einführung eines Reifegradmodells basierend auf dem CMMI⁷ Standard eine Möglichkeit, die Ausgangssituation zu ermitteln, das Zielbild zu beschreiben und

⁷ Das Capability Maturity Model Integration (CMMI) definiert Referenzmodelle für unterschiedliche Anwendungsgebiete, um die Verbesserung einer Organisation zu unterstützen (https://de.wikipedia.org/wiki/Capability_Maturity_Model_Integration).

strategische Massnahmen abzuleiten. Die Ausgangssituation kann mit Beispielen beschrieben werden, was das Verständnis und die Überprüfbarkeit erhöht. Die strategischen Massnahmen müssen nach Aufwand, Nutzen und Dringlichkeit priorisiert werden. Der Hauptfokus des Reifegradmodells bezieht sich auf Organisation, Kompetenzen und Prozesse, wobei die Prozesse den Kern darstellen (z.B. Anforderungsmanagement, Systemgestaltung, Lösungsfindung, Realisierung, etc.). Für alle Bereiche werden Leistungsstufen von 1 bis 4 definiert. Detailliert betrachtet werden Märkte, Unternehmenseigenschaften, beteiligte Disziplinen, Komplexität und Wertschöpfungstiefe. Die Motivation für die Einführung von MBSE entsteht oft durch Veränderungen oder Herausforderungen in diesen Bereichen. Das Reifegradmodell befindet sich noch in der Pilotanwendung und zur Weiterentwicklung werden Praxisbeispiele gesammelt werden müssen.

Der Einführungsprozess von MBSE stellt auch immer eine gewisse Organisationsänderung dar. Um eine vollständige Sicht auf die angestrebte Organisationsänderung zu bekommen, kann das 4 Quadrantenmodell von Ken Wilbert genutzt werden. Dieses 4 Quadrantenmodell betrachtet in einer Dimension innerliche und äusserliche Aspekte und in der anderen Dimension individuelle und kollektive Punkte. Für jeden Quadrant werden Fragen formuliert, deren Beantwortung Anhaltspunkte ergeben, was bei den organisatorischen Änderungen beachten werden soll. Gestartet wird mit der Identifikation von hemmenden Faktoren, die eine Einführung behindern. In einem zweiten Schritt werden flankierende Massnahmen festgelegt, damit die hemmenden Faktoren gar nicht entstehen (Franzen, 2015).

Diese Beispiele zeigen, dass der Nutzen von MBSE in Bezug auf Prozesse und Methoden in der Systementwicklung sehr unterschiedlich gelagert sein kann. Der Bogen spannt sich von Betrachtung der MBSE spezifischen Prozesse über Organisationsänderungen bis zur Erweiterung in ein PLM System.

Es ist zu bedenken, dass die fokussierte Anwendung von Prozessen dazu führen kann, dass nur noch dem Prozess gefolgt wird und der Prozess das Denken ersetzt. Daher ist es wichtig, sowohl systematisch (Prozess) als auch systemisch (Denken und Verstehen von Situation und Problem) zu agieren. Systems Engineering muss ein integraler Teil des gesamten Unternehmens und Entwicklungsprozesses werden und nicht nochmals ein Silo (Beasley, 2017).

4.4.2 Qualität des Systemmodells

Im Gegensatz zum vorherigen Abschnitt betrachten die im Folgenden beschriebenen Evaluationen vor allem die Qualität des Systemmodells.

Anhand eines Beispiels aus der Avionik wurde mittels des kompletten Flusses von der funktionalen Architektur über die SW Architektur inklusive Datenmodellierung und der Allokation auf die Hardware Plattform die Vorteile des modellbasierten Ansatzes gezeigt. Mit automatisierten Checks wird die Konsistenz von Funktion, Software und Plattform-Architektur sichergestellt. Datenchecks, Optimierung der Plattform Ressourcen und Verwendung, automatisierte Erstellung von ICD (Interface Communication Documents) und Generierung von Konfigurationsdateien sind weitere Vorteile (Le Sergent, Dormoy & Le Guennec, 2016).

Ergebnisse aus der formalen Prüfung des Modells können als Metriken im Entwicklungsprozess eingesetzt werden. Als Beispiel solcher Metriken wäre zum Beispiel die formale Qualität des Modells gegenüber einer Regel zu nennen. Durch das Verhältnis aller überprüften Elemente zu den Elementen, welche die Regel erfüllen, kann eine Kennzahl über die Qualität abgeleitet werden. Diese Auswertung kann mit einer Prioritätsgewichtung erweitert werden. Aus diesen Daten können Trendanalysen und Qualitätsaussagen abgeleitet werden, welche für die Bestimmung des Projektfortschrittes genutzt werden können (Alt, 2012).

4.4.3 Nutzen des Modells zur Verbesserung der Zusammenarbeit

Das Systemmodell wird nicht zum Selbstzweck erstellt, sondern soll helfen, komplexe Systeme überschaubar zu dokumentieren. Zudem kann der Prozess der Erstellung und die Artefakte in den Modellen genutzt werden, um die Zusammenarbeit von Entwicklungsteams und den beteiligten Personen zu verbessern. Diese Thematik wird in diesem Abschnitt beleuchtet.

Basierend auf der FAS Methode (Lamm & Weilkens, 2014) wurden drei Fallstudien in den Industriebereichen Automobil, Gerätehersteller und Anlagenbau durchgeführt (Kleiner & Husung, 2016). Es hat sich gezeigt, dass Artefakte aus dem Systemmodell Nutzen bei der Abstimmung der einzelnen Entwicklungsteams generiert. So konnte zum Beispiel der Systemkontext in frühen Phasen des Projekts eine umfassende Betrachtung und Diskussion des Gesamtsystems ermöglichen und unerwünschte Wechselwirkungen aufdecken. Auch die Definition der Systemgrenzen oder die Nutzung unterschiedlicher Sichten hat geholfen die komplexen Zusammenhänge zu visualisieren. Durch die Entwicklung einer Systemarchitektur konnte die Abstimmung unterschiedlicher Entwicklungsteams verbessert werden. Dasselbe gilt für die Erfassung der Anforderungen und der Bildung eines gemeinsamen Verständnisses mit den Stakeholdern. Abschliessend wurde darauf hingewiesen, dass der Quellcode für Modellsimulationen direkt für die physische Maschine genutzt werden konnte.

Huckriede et al. (2016) haben Untersuchungen über eine mögliche SE-Einführung bei drei mittelständischen deutschen Unternehmen durchgeführt. Diese Unternehmen haben sich alle auf die Entwicklung von kundenspezifischen Lösungen spezialisiert und projektieren und bauen das Endprodukt in der Regel in «Stückzahl 1». Sie haben drei Ganztagesworkshops zu den Themen Systems Engineering im Vertriebsprozess, zur Systemspezifikation und im Einkauf durchgeführt. Dabei haben sich die folgenden Potenziale aus Sicht der KMU ergeben:

- **Schnelles Systemverständnis:** Die TeilnehmerInnen kamen schnell mit den Modellen zurecht und konnten das System verstehen.
- **Analyse von Zusammenhängen:** Die Zusammenhänge im System werden durch das Modell gut visualisiert und so können Auswirkungen durch Änderungen schnell nachvollzogen werden.
- **Verknüpfung von Anforderungen, Funktionen und Lösungselementen:** Durch die Verwendung des Modells und eines Softwarewerkzeugs fällt es leicht, zu prüfen, ob alle Anforderungen erfüllt sind und ob das System über alle Komponenten und Funktionen verfügt.

- **Vereinfachung/Vereinheitlichung der Kommunikation:** Da alle Informationen in einem Modell gesammelt sind, wird die Kommunikation über Fachabteilungen und die Definition von Schnittstellen vereinfacht.
- **Änderungs- und Datenmanagement:** Durch die Verwendung eines zentralen Modells sind die genutzten Daten immer auf dem aktuellen Stand und alle MitarbeiterInnen haben den gleichen Kenntnisstand. Ferner müssen die Änderungen nur an einem Ort vorgenommen werden.

Es wurde festgestellt, dass die Softwarewerkzeuge für KMU nur bedingt geeignet sind und hier noch Handlungsbedarf besteht. Basierend auf den Resultaten sind sich jedoch alle drei Unternehmen einig, dass MBSE massgeblich zur Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit kleiner und mittelständischer Unternehmen beitragen kann. Sie sind zum Schluss gekommen, dass es sich lohnt, den Ansatz Systems Engineering weiter zu verfolgen. Die konkreten Potenziale von MBSE über den ganzen Produktlebenszyklus müssen jedoch noch genauer untersucht werden, da der Fokus bis jetzt auf den frühen Entwicklungsphasen lag.

4.4.4 Erfolgreiche Produkte

Aus unternehmerischer Sicht steht die Wirtschaftlichkeit von MBSE im Zentrum. In diesem Gebiet gibt es Publikationen, die den Return on Invest betrachten.

Die Dissertation von Eric Honour ist wahrscheinlich die kompletteste und bestdokumentierte Begründung für die Wirtschaftlichkeit von Systems Engineering (Honour, 2013). Er führte 43 Studien in unterschiedlichen Branchen durch, wobei sich jede Studie auf ein Projekt bezieht. Honour konnte nachweisen, dass der Aufwand von SE, der in ein Projekt investiert wird eine direkte Korrelation zum Erfolg hat. Das optimale Level wird erreicht, wenn 14% der gesamten Programmkosten in SE investiert wird. Wenn weniger oder aber auch mehr investiert wird, dann nimmt die Effektivität ab. Wie hoch der Gewinn in der Wirtschaftlichkeit ist, hängt zudem vom Reifegrad des Systems Engineering ab. Je höher der Reifegrad ist, desto weniger ist der relative Nutzen. Es wird angegeben, dass der Return on Invest 7:1 ist für Programme mit wenig SE-Aufwand und 3.5:1 für solche mit mittlerem SE-Aufwand. Der Schwerpunkt der analysierten Projekte ist im Bereich Rüstung, Luft- und Raumfahrt anzusiedeln, wobei auch Projekte im Bereich von Kommunikation und Sicherheitssysteme Beachtung fanden.

Elm (2011) stellt die Hypothese auf, dass effektive Performance von SE in der direkten Anwendung auf Entwicklungsprogramme einen messbaren Mehrwert in der Programmausführung liefert. Er teilt die Projektperformance in „Lower Performance“, „Moderate Performance“ und „Best Performance“ ein. Die effektive Projektperformance wird anhand der folgenden drei Bereiche gemessen: Budgeteinhaltung, Zeitplanung, Anforderungserfüllung. Er erstellte einen Fragebogen basierend auf dem CMMI Modell, welcher 88 Fragen enthält, wovon 71 auf SE fokussiert waren, und teilte ihn in 12 Kategorien ein (z.B. Projekt Planung, Anforderungen, etc.). Die Untersuchungen von 64 Datensätzen haben gezeigt, dass eine starke Korrelation von «Projektperformance» mit «Requirements Engineering und Management» und «Architekturerstellung und Bestimmung der optimalen technischen Gesamtlösung» vorhanden

ist. Bei Projekten mit niedrigeren Herausforderungen sind nur 25% in der Kategorie «Best Performance», wenn Requirements- und Architektur-Kompetenzen niedrig sind. Der Prozentsatz der «Best Performance» Projekte kann auf 72% erhöht werden, wenn die Requirements- und Architektur-Kompetenzen auf hoch eingestuft werden. Bei herausfordernden Projekten ist es noch signifikanter. Dort sind keine «Best Performance» Projekte gezählt worden, wenn die Kompetenzen niedrig sind, aber immerhin werden 36% bei hoher Kompetenz erreicht. Die detaillierten Resultate der Auswertung sind in Abbildung 4-1 dargestellt. Damit konnte die Untersuchung quantitativ zeigen, dass es einen Return on Invest bei der Erfolgsrate von Projekten in den oben angegebenen Punkten gibt.

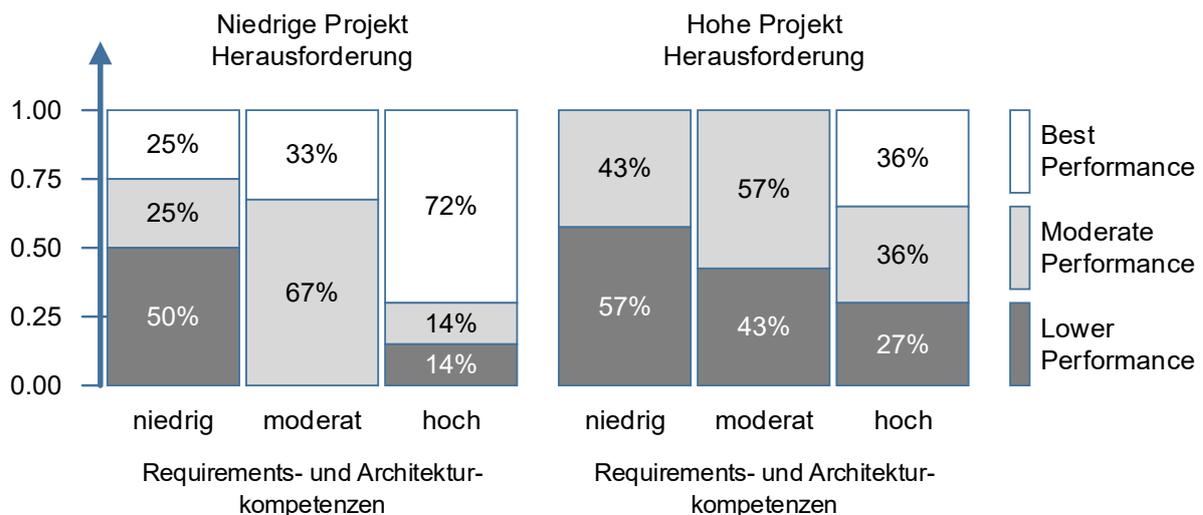


Abbildung 4-1: Zusammenhang von Requirements- und Architekturkompetenzen und der Projektperformance (in Anlehnung an Elm, 2011)

Beide Untersuchungen zeigen, dass der Einsatz von SE einen Mehrwert generiert, wobei ihre Messungen keine absoluten Werte liefern, sondern nur relative Resultate darstellen. Es ist anzuführen, dass der Fokus vor allem auf SE und nicht auf MBSE liegt, was auch am Publikationsdatum ersichtlich ist, da MBSE erst in den letzten Jahren einen Aufschwung erlebt hat.

Ein weiterer Ansatz für die Bestimmung der Wirtschaftlichkeit von SE-Einführungsprojekten stellt die Erstellung eines Potenzialmodells dar, welches das zu erwartende Nutzenpotenzial mit messbaren KPI⁸ verknüpft. Durch einen auf diesen KPI basierenden Vergleich von Soll- und Ist-Prozess ist eine Sensitivitätsanalyse hinsichtlich möglicher Varianten des Soll-Prozesses möglich. Mit diesem Ansatz können sowohl materielle als auch immaterielle, welche in der Business-Case Betrachtung oft nicht vorkommen, Werte identifiziert und gemessen werden (Hochstein, Krastel, Langlotz & Trendel, 2015).

⁸ Der Begriff Key Performance Indicator (KPI) bzw. Leistungskennzahl bezeichnet in der Betriebswirtschaftslehre Kennzahlen, anhand derer der Fortschritt oder der Erfüllungsgrad hinsichtlich wichtiger Zielsetzungen oder kritischer Erfolgsfaktoren innerhalb einer Organisation gemessen und/oder ermittelt werden kann (https://de.wikipedia.org/wiki/Key_Performance_Indicator)

4.5 Nutzen in angrenzenden Themen oder Disziplinen

Die Frage nach dem Nutzen wird nicht nur bei der Einführung von Systems Engineering gestellt, sondern auch in anderen Bereichen der Produktentwicklung. Beispielsweise setzen sich Ortner und Stur (2015) mit dem Nutzen eines Projektmanagement-Offices auseinander und Lappe und Spang (2012) stellen die Frage nach dem nachweisbaren wirtschaftlichen Nutzen von Projektmanagement und präsentieren ein Modell für die Ermittlung des ROI.

Auch bei der Einführung und dem Ausbau des Produkt Lifecycle Managements muss die Wirtschaftlichkeit und die betriebsspezifische Kosten-/Nutzenanalyse betrachtet werden (Eigner & Stelzer, 2009; Feldhusen & Gebhardt, 2008).

Dieser Abschnitt beleuchtet den Nutzen von Projektmanagement und PLM in der Produktentwicklung und versucht Synergien und Analogien zum Nutzen von MBSE herzustellen. Wenn dies gelingt, dann können diese Aussagen zur Erstellung des Nutzenmodells herangezogen werden.

4.5.1 Nutzen von Projektmanagement

Im Folgenden werden zwei Beiträge bezüglich des Nutzens von Projektmanagement analysiert und zusammengefasst, um einen Zusammenhang zum Nutzen von MBSE herzustellen.

4.5.1.1 *Das Projektmanagement-Office: Einführung und Nutzen (Ortner & Stur, 2015)*

Ortner und Stur (2015) bezeichnen das Projektmanagement-Office (PMO) als ein Werkzeug, welches dazu dient den Nutzen, die Effizienz und den Erfolg von Projekten, als auch das Wissen der MitarbeiterInnen im Unternehmen weiter zu verbessern. Das Projektmanagement-Office als eine dauerhafte Einrichtung gibt den Projekten den methodischen Rahmen und die Standards für das Projektmanagement vor und unterstützt die beteiligten Personen bei der Ausführung. Diese dauerhaft eingerichtete Stelle soll dem Unternehmen Nutzen bei der Unterstützung von Projektmanagementaktivitäten generieren.

Diese Aussagen lassen sich auch auf das Systems Engineering übertragen. Das Systems Engineering Office als dauerhafte Stelle unterstützt die Systemingenieure und Systemingenieurinnen bei ihrer Arbeit in den Projekten (Knop et al., 2016).

Ortner und Stur (2015) geben 10 Gründe für ein PMO an, wobei sich nicht alle direkt auf Systems Engineering oder ein Systems Engineering Office übertragen lassen. Die Gründe, welche eine Analogie zulassen sind im Folgenden aufgelistet:

- **Professionelles Projektmanagement:** Ein PMO strebt professionelles Projektmanagement an und entwickelt individuelle, kollektive und organisatorische Kompetenzen
- **Vereinheitlichung:** Durch die Definition von einheitlichen Vorgehensweisen kann der Aufwand insgesamt reduziert werden. Es wird verhindert, dass das Rad immer wieder neu erfunden wird und die Ausführung hängt nicht mehr nur von individuellen Erfahrungen und Kompetenzen ab.

- **Förderung der Kommunikation:** Kommunikation ist ein Antreiber der Projekte. Es kann aber nicht erzwungen werden, dass die ProjektmitarbeiterInnen sich miteinander austauschen und nicht aneinander vorbeireden. Das Projektmanagement oder das PMO kann jedoch günstige Rahmenbedingungen schaffen, um die Kommunikation und das Verständnis zu fördern.
- **Einklang der Projekte mit der Unternehmensstrategie:** Das PMO trägt Sorge dafür, dass die durchgeführten Projekte an der Unternehmensstrategie ausgerichtet sind, indem es Entscheidungsgrundlagen erarbeitet und Prioritäten setzt.
- **Förderung der Projektmanagementkultur:** Das unternehmensweite Verständnis für Projektmanagement in Form einer Projektmanagementkultur fördert den Erfolg bei der Projektdurchführung.
- **Wissensdatenbank und Best-Practices:** Das Wissen aus bereits abgeschlossenen Projekten sollte leicht zugänglich und zuverlässig sein, damit es für zukünftige Projekte wiederverwendet werden kann.
- **Projektmanagement-Tools und Infrastruktur:** Für ein professionelles Projektmanagement sind geeignete Softwarewerkzeuge unerlässlich. Eine optimale Infrastruktur an Werkzeugen und deren Wartung unterstützt die ProjektmanagerInnen in unterschiedlichsten Situationen im Projekt.
- **Scheitern verhindern und Effektivität erhöhen:** Das PMO hilft die Projekte kontinuierlich am Laufen zu halten und stiftet Nutzen, indem Projekte schneller umgesetzt werden, geringere Kosten entstehen, höhere Qualität erzielt wird, Prozesssicherheit vorhanden ist und Unterstützung sichergestellt wird.

Diese Gründe und der damit verbundene Nutzen lassen sich direkt auf Systems Engineering übertragen. Beispielsweise kann durch eine Vereinheitlichung der Wechsel eines Systems Engineers innerhalb eines Projekts schneller vollzogen werden, da die Methoden und Prozesse allgemein bekannt sind und nicht auf individuellen Fähigkeiten beruhen. Auch die Förderung einer SE-Kultur fördert das gemeinsame Verständnis von Systems Engineering und der Anwendung in den Projekten, so dass alle Beteiligten dasselbe verstehen. Modellbasiertes Systems Engineering ohne ein Softwarewerkzeug ist nicht sinnvoll. Damit aber ein optimaler Nutzen gezogen werden kann, muss dieses Werkzeug sorgfältig ausgewählt, eingeführt und gewartet werden. Und es muss für alle ProjektmitarbeiterInnen zur Verfügung stehen, damit sie benötigte Informationen abrufen können. Auch die Prozess- und Methodensicherheit im SE hilft, die Projekte effizienter durchzuführen.

Bei all diesen Gründen muss jedoch darauf geachtet werden, dass Überadministration vermieden wird und die Aufgaben nicht dem Selbstzweck dienen. Es wird darauf hingewiesen, dass das Akzeptanzproblem ein Risiko darstellt und daher frühzeitig informiert und der Nutzen dargestellt werden soll (Ortner & Stur, 2015).

4.5.1.2 Return on Investment (ROI) von Projektmanagement (Lappe & Spang, 2012)

Analog zu Honour (2013) wird die Frage gestellt, was ein optimales Mass an Projektmanagement ist und ob es möglich wäre, ohne Projektmanagement auszukommen und trotzdem erfolgreich zu bleiben. Auch wenn für die fachlich Verantwortlichen der Nutzen von Projektmanagement meist ausser Frage steht, hinterfragt das Management diesen in Zeiten wachsenden wirtschaftlichen Drucks (Lappe & Spang, 2012). Dies korreliert mit der Aussage von Gausemeier et al. (2013) in ihrer Umfrage, dass grundsätzlich alle Befragten erhebliche Nutzenpotenziale bei der Anwendung von Systems Engineering sehen und trotzdem der nicht quantifizierbare Nutzen das grösste Hindernis darstellt.

Lappe und Spang (2012) teilen den Nutzen in zwei Kategorien ein, den quantitativen und den qualitativen Nutzen. Dies entspricht den quantifizierbaren und dem schwer quantifizierbaren Nutzen, wie in Kapitel 3 definiert. Für den quantitativen Nutzen wurden die folgenden Gruppen identifiziert:

- **Kosteneinsparung:** Kosten können durch reduzierte Nachbesserungen und Fehlerkosten, sowie verringerte Projektkosten eingespart werden.
- **Rationalisierung:** Die verbesserte Personaleinsatzplanung führt zu einer Rationalisierung.
- **Zeiteinsparung:** Pünktliche, schnellere Projektergebnisse, kürzere Projektlaufzeiten und verbesserte, schnellere Entscheidungsprozesse erlauben Zeit einzusparen.

Im Bereich des qualitativen, respektive schwer quantifizierbaren Nutzens werden die folgenden Gruppen genannt:

- **Systematik:** Durch systematisches Vorgehen kann die Planungs- und Prognosequalität verbessert werden. Standardisierte Prozesse und Methoden, definierte Vorgehensweisen und Tools, sowie verbesserte Projektsteuerung und Multiprojektkoordination führen zu einer zuverlässigeren und frühzeitigeren Erkennung von Gefahren und Risiken.
- **Transparenz:** Klare Verantwortlichkeiten und Zuständigkeiten und eine verbesserte Kommunikation zwischen den Personen und Abteilungen führen zu einer erhöhten Transparenz über Kapazitäten, Restaufwände und Budget.
- **Effizienz:** Weniger Abstimmungsprobleme und eine verbesserte Engpassoptimierung von knappen Ressourcen erhöhen die Effizienz.
- **Wettbewerbsfähigkeit:** Verbesserungen in der Geschäftsperformance, der Reaktion auf Geschäftschancen, der Marktpositionierung und der Abgrenzung von Konkurrenten tragen zur Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit bei. Weitere positive Faktoren sind eine bessere Ausrichtung auf die Unternehmensziele, der verbesserte Wissenstransfer und die Reduktion von Konflikten unter Mitarbeitern und Mitarbeiterinnen, sowie eine geringere Personalfuktuation.
- **Kundenzufriedenheit/-orientierung:** Indem der Fokus mehr auf den Kunden und die Kundin ausgerichtet wurde, konnte die Zufriedenheit erhöht werden.

Die Steigerung des qualitativen Nutzens wurde anhand der Veränderung des Nutzenniveaus zwischen zwei Betrachtungszeitpunkten identifiziert. Dabei wurde eine Wertausprägung von 1 (sehr gering) bis 10 (sehr hoch) verwendet. Die Auswertung des quantitativen Nutzens wurde anhand eines Vergleichs von «Ist» und «Plan» durchgeführt.

Lappe und Spang (2012) haben gezeigt, dass der Einsatz von Projektmanagement im betrachteten Unternehmen einen positiven Nutzen gebracht hat. Sie haben erwähnt, dass der Nutzen über die Zeit abflachen kann, da eine immer bessere Zielerreichung gewährleistet wird und damit die Differenz von «Ist» zu «Plan» abnimmt.

Die oben erwähnten quantitativen Nutzen stimmen mit den Aussagen von Schabacker (2001) überein. Die Bereiche des schwer quantifizierbaren Nutzens können auf Systems Engineering übertragen werden. So kann durch systematisches Vorgehen und standardisierte Prozesse ebenfalls eine frühe Erkennung von Risiken erwartet werden. Durch die Definition von Personen, die für SE verantwortlich sind, kann die Transparenz erhöht und die Kommunikation verbessert werden. Damit wird für alle Beteiligten klar dargestellt, wer sich um was kümmert und wo die Verantwortung liegt. Die Punkte Effizienz, Wettbewerbsfähigkeit und Kundenorientierung sind ebenfalls Nutzenziele für SE. Damit ist ersichtlich, dass die Nutzenanalyse im Bereich Projektmanagement sehr stark mit den Themen im Systems Engineering korreliert.

4.5.2 Nutzen von Produkt Lifecycle Management

Produkt Lifecycle Management-Lösungen spielen eine wesentliche Rolle im Produktentstehungsprozess, welcher geprägt ist von immer komplexeren Produkten und Prozessen. Die Durchdringung dieser Systeme ist gerade für kleinere und mittlere Unternehmen noch nicht vollzogen. Eine fundierte Einführung und Umsetzung kann nur geschehen, wenn die Implementierung des Produkt Lifecycle Managements Systems als ganzheitlicher Prozess betrachtet wird, welcher die Menschen, die Organisation und die Technik mit einschließt (Eigner & Stelzer, 2009, S. 1).

Diese Aussage kann auf die Einführung vom MBSE übertragen werden, wie in Abschnitt 1.1 dargestellt. Daher werden in den folgenden Unterabschnitten zwei Literaturbeiträge über PLM bezüglich dessen Nutzen analysiert, um diese auf Analogien zu SE und MBSE zu prüfen. Die Erkenntnisse aus dieser Analyse werden für die Erstellung des Nutzenmodells für MBSE herangezogen.

4.5.2.1 Product Lifecycle Management für die Praxis (Feldhusen & Gebhardt, 2008)

Die Autoren gehen davon aus, dass sich mit Hilfe eines PLM-Systems die operativen Abläufe in den Hauptunternehmensebenen Produkt, Prozess und Organisation deutlich verbessern lassen. Neben diesen positiven Effekten müssen jedoch auch die betriebswirtschaftlichen Überlegungen vor und während der Einführung betrachtet werden.

Bei der Betrachtung von Nutzen und Aufwänden werden oft unzureichende oder falsche Aussagen getroffen. Ein Grund ist, dass die Einführung eines solchen Systems nicht nur Auswirkungen auf eine, sondern diverse Abteilungen hat und damit nicht eindeutig einem Bereich

zugeordnet werden kann. Als ein weiterer Grund wird die Schwierigkeit der Darstellung des monetären Nutzens von Prozessstandardisierungen oder höhere Produktqualität genannt. Es ist zudem zu berücksichtigen, dass die finanziellen Auswirkungen erst verzögert auftreten, häufig erst in der nächsten Produktgeneration (Feldhusen & Gebhardt, 2008). Dies kann mit dem in Kapitel 3 definierten «indirekt quantifizierbaren Nutzen» oder «indirekt schwer quantifizierbaren Nutzen» verglichen werden.

Diese Zusammenhänge sind vereinfacht in Abbildung 4-2 dargestellt. In den frühen Phasen der Produktentwicklung sind die nicht-monetären Nutzen wie zum Beispiel eine Prozessstandardisierung hoch. Dazu korrelieren die hohen Kosten der Einführung und Umsetzung. Der monetäre Nutzen wird erst später sichtbar, was sich exemplarisch bei der Fertigung auf der Basis von Wiederholteilen oder eines verbesserten Kundenservices durch schnell verfügbare und aktuelle Produktdaten zeigt.

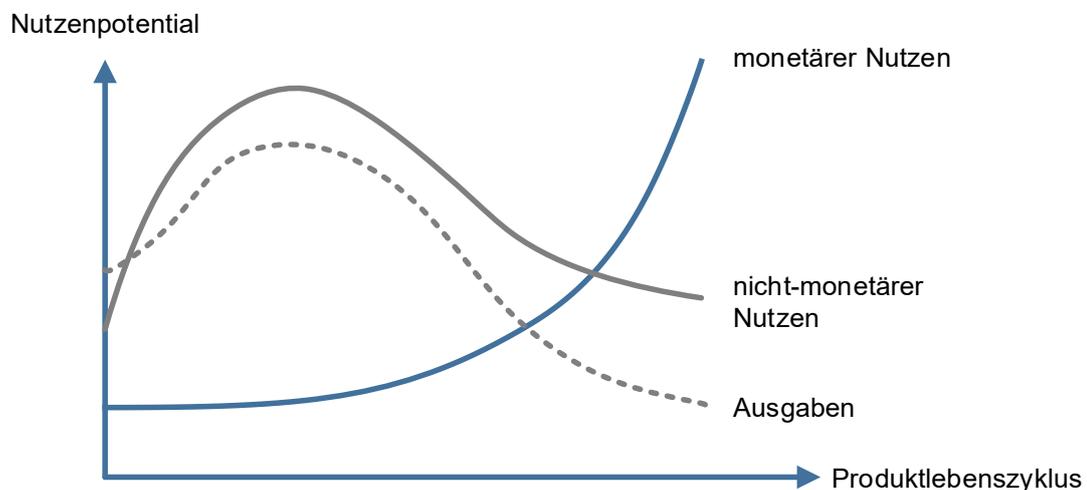


Abbildung 4-2: Nutzenpotenziale und Ausgaben über einen betrachteten Produktlebenszyklus (in Anlehnung an Feldhusen & Gebhardt, 2008, S. 247)

Feldhusen und Gebhardt (2008) schlagen zur Erfassung von Nutzenpotenzialen zwei Wege vor. Gestartet wird mit der Analyse von Erfahrungen anderer Unternehmen, Veröffentlichungen und Studien. Dies wird ergänzt mit der Analyse des unternehmensindividuellen Nutzenpotenzials. Die Schwachstellen, die bei dieser Analyse identifiziert werden, stellen dabei das vorhandene Nutzenpotenzial dar.

Die allgemeinen Nutzenpotenziale beziehen sich auf die drei bereits bekannten Bereiche Zeit, Qualität und Kosten, wie in Kapitel 3 ausgeführt, und es werden die folgenden Nennungen gemacht:

- Hoher Wiederverwendungsgrad.
- Reduzierung der kostenintensiven Änderungen nach dem Produktionsstart.
- Verbesserung der (standortübergreifenden) Zusammenarbeit.
- Konsistente und aktuelle Datenverfügbarkeit.
- Erhöhung des zeitlichen Anteils an wertschöpfenden Engineering-Tätigkeiten zur Schaffung von Innovationen.

- Erhöhung der Durchgängigkeit von Prozessen und Kommunikation.
- Reduktion von Medien- und Informationsbrüchen.

Die Nutzenquantifizierung der Punkte oben wird jedoch als problematisch bezeichnet und basiert meistens auf Erfahrungswerten, Literaturangaben oder Studien. Für die unternehmensindividuellen Nutzenpotenziale wird vorgeschlagen, mit der Erwartung an die Einführung zu starten. Im zweiten Arbeitsschritt wird ein Umsetzungsszenario ausgewählt und das Ziel stellt den Soll-Zustand dar, welcher erreicht werden soll. Werden die Ziele erreicht, dann stellt dies die Realisierung des vorhandenen Nutzenpotenzials dar.

Bei der Einführung eines solchen Systems müssen monetär messbare und monetär nicht messbare Nutzenpotenziale betrachtet werden, wobei die monetär nicht messbaren Potenziale noch in quantifizierbar und nicht quantifizierbar aufgeteilt werden. Dort, wo es möglich ist, werden Bewertungskriterien definiert.

Abschliessend wird auf die Wichtigkeit einer genauen Zieldefinition hingewiesen, welche zwingend erforderlich ist, damit die Nutzenpotenziale erfasst werden können. Beispielsweise müsste höhere Produktqualität genau definiert werden, damit eine Verbesserung identifiziert werden kann. Dies könnte nicht nur eine geringere Ausfallquote sein, sondern auch die bessere Verfügbarkeit von Ersatzteilen.

Sowohl die Liste der Nutzenpotenziale (vergleiche Kapitel 2.4), als auch die Einteilung der unterschiedlichen Nutzen (vergleiche Kapitel 3) und die Zieldefinition (Steffen et al., 2016) wurden bereits im Zusammenhang mit MBSE erwähnt. Das bedeutet, dass eine grosse Ähnlichkeit bezüglich der Einführung und der Identifikation des Nutzens zwischen PLM und MBSE besteht.

4.5.2.2 *Product Lifecycle Management (Eigner & Stelzer, 2009)*

Bei der Analyse von Kosten und Nutzen zur Wirtschaftlichkeitsbetrachtung stellen Eigner und Stelzer (2009) fest, dass eine rein kaufmännische Sicht unter Berücksichtigung der eindeutig rechenbaren Nutzengrössen nicht ausreichend ist für die Rechtfertigung einer Einführung einer PLM Lösung. Erst die Betrachtung der qualitativen Nutzengrössen und deren Überführung in monetäre Nutzengrössen ermöglichen eine umfassende Bewertung.

Im Gegensatz zur Erfassung der Kosten ist die Erfassung des Nutzens ungleich aufwändiger, da mehrere Aspekte berücksichtigt werden müssen. Das vorgeschlagene Nutzenerfassungsmodell basiert auf der Grobeinteilung der Nutzenarten, welche auf eine Aufgabe bezogen werden, die direkte Erträge bewirkt. Diese Erträge werden unterteilt und über die Zeit betrachtet, um so eine Investitionskontrolle zu ermöglichen. Zur Ertragsbetrachtung wird die Realisierungswahrscheinlichkeit herangezogen und die Resultate in Diagrammen dargestellt.

Die folgenden Beispiele für Nutzenkomponenten bezogen auf PLM werden genannt:

- **Zeitfaktor:** Zeitliche Einsparungen resultieren vor allem im Dokumentenzugriff und im Änderungswesen.
- **Qualitätsfaktor:** Wesentliche Unterstützung von Qualitätsrichtlinien, insbesondere das Freigabe- und Änderungswesen, sowie von Rekonfigurationen im Schadensfall.

- **Wiederverwendungsfaktor:** Da sich ein grosser Anteil der Konstruktion aus existierenden oder geringfügig geänderten Teilen und Baugruppen zusammensetzt, können diese optimal bei Neukonstruktionen wiederverwendet werden.
- **Synergiefaktor:** Die Einführung einer PLM-Lösung kann Engineering Prozesse in den Bereichen bessere und transparente Information, bessere Entscheidungsunterstützung, reduzierte und frühere Änderungsdurchführung entscheidend verbessern.

Für alle diese Nutzenkomponenten geben Eigner und Stelzer (2009) detaillierte Beispiele verschiedener Unternehmen und Technologieführer an.

Wie bereits in den vorangegangenen Abschnitten können diese Aussagen und Nutzenkomponenten auf die Anwendung und Einführung von MBSE übertragen werden.

4.6 Reflexion des Nutzens

Bevor der Nutzen von MBSE in der praktischen Anwendung sichtbar wird, muss MBSE in einem Unternehmen eingeführt werden, vergleiche Abschnitt 4.2. Dazu müssen Voraussetzungen geschaffen, Veränderungen initiiert und Hindernisse überwunden werden. Der kulturelle Widerstand wurde als das grösste Hindernis identifiziert. Durch einen gut dokumentierten SE-Prozess, geschulte MitarbeiterInnen, installiertes Modellmanagement und verfügbare Modellierungswerkzeuge kann diesem Widerstand entgegnet werden. Auch das Einbeziehen der MitarbeiterInnen während der Einführungsphase wird als ein wichtiger Punkt angegeben.

Weitere Ansätze bei der Einführung sind die Definition von MBSE-Use Cases, die Installation eines Systems Engineering Offices oder die Anwendung einer phasenbasierten MBSE Adoption Toolbox, mit den Phasen Definition, Entwicklung und einer Einführung. Eine Zusammenfassung der Literatur bezüglich der Einführung von MBSE ist in Anhang C.1 beschrieben.

Die detaillierte Zusammenstellung der Literaturanalyse bezüglich des Nutzens von MBSE aus Abschnitt 4.4 ist in Anhang C.2 dargestellt. Sie macht deutlich, dass das Nutzenpotenzial in den unterschiedlichsten Bereichen von Systems Engineering analysiert wurde. Vor allem bei den theoretischen Betrachtungen wird kein direkter Bezug zu den Branchen hergestellt und es ist anzunehmen, dass diese Ansätze generisch angewandt werden können.

Die praktischen Auswertungen basieren entweder auf Umfragen, langfristigen Beobachtungen von Projekten, vor allem im Rüstungs-, Luft- und Raumfahrt-Sektor oder der Begleitung von Einführungsprojekten. Es haben sich keine klaren Vorgehensschritte oder Metriken herauskristallisiert, die ein Unternehmen, welches MBSE einführen möchte oder einführt, direkt anwenden kann.

Die Betrachtung von Nutzen in den zum Systems Engineering angrenzenden Bereichen Projektmanagement und Produkt Lifecycle Management haben Analogien gezeigt. Auch in diesen Disziplinen wird generischer Nutzen, zum Beispiel in der Kommunikation, der Transparenz und der Wiederverwendbarkeit genannt.

Es scheint, dass entweder sehr allgemeine Aussagen gemacht werden, dass sich der Einsatz von SE lohnt und zum Beispiel ein Optimum bei einer Investition 14% des Gesamtbudgets erreicht wird, oder es gibt sehr spezifische Beobachtungen, die genau auf ein Unternehmen passen. Dies entspricht auch der Hypothese von Sheard und Miller (2000), dass es keine „harten Zahlen“ geben wird, welche die Wirtschaftlichkeit von MBSE beweisen.

Trotzdem stellt sich die Frage, wie der Nutzen von MBSE sichtbar gemacht werden kann. Dazu wird im nächsten Kapitel ein theoretisches Nutzenmodell erstellt, welches durch Experteninterviews verfeinert und konkretisiert wird.

5 THEORETISCHES NUTZENMODELL VON MODELL-BASIERTEM SYSTEMS ENGINEERING

Basierend auf der Literaturrecherche der aktuellen Forschung im Bereich Nutzen von modellbasiertem Systems Engineering wird im Rahmen dieser Arbeit ein zweistufiges Nutzenmodell, dargestellt in Abbildung 5-1 und Abbildung 5-2, erstellt.

Bei der Planung der Einführung von MBSE soll dieses Modell helfen, die nötigen Vorbereitungen zu definieren und die wesentlichen Bereiche und Einflussfaktoren, spezifisch für das entsprechende Unternehmen, zu identifizieren, um den optimalen Nutzen zu erreichen. Es dient als Grundlage für die Definition, was genau während der Einführung gemacht werden soll und wo Nutzen zu erwarten ist. Konkrete Anwendungsfälle werden in Kapitel 9 dargestellt.

Das Nutzenmodell stellt die Basis für die weiteren Untersuchungen dar und unterstützt den Forschungsprozess, um in der Erhebung und der Auswertung keine wesentlichen Aspekte zu übersehen (Mayer, 2013, S. 36).

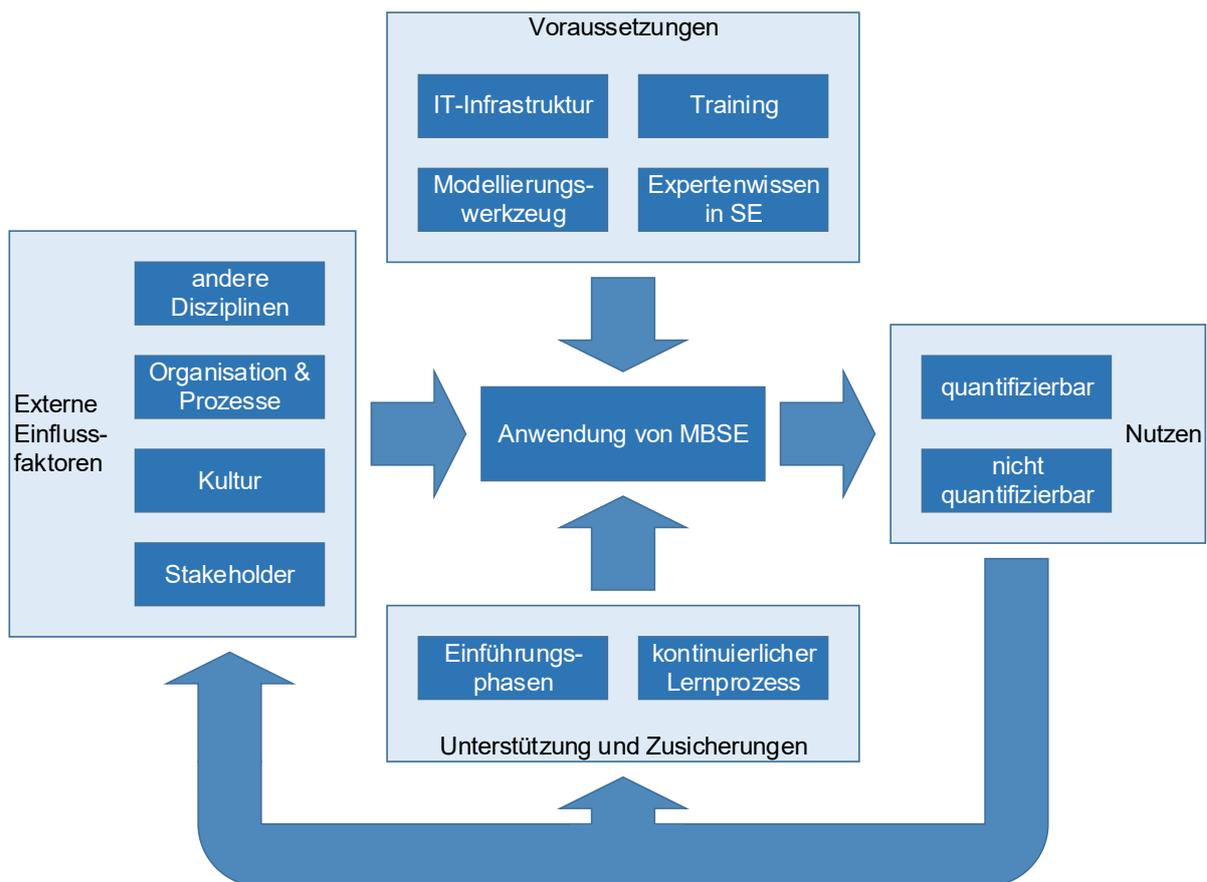


Abbildung 5-1: Erste Ebene des theoretischen Modells des Nutzens von MBSE (Eigendarstellung Bernd Walser)

Das theoretische Modell besteht aus zwei Ebenen. Die Erste bezieht sich auf die gesamte Umgebung und Einflussfaktoren, welche auf die Anwendung von MBSE einwirken und die Rückkopplung des Nutzens auf die Einflüsse.

Abbildung 5-1 stellt diese Zusammenhänge dar und teilt die Einflüsse in drei Bereiche ein:

- **Externe Einflussfaktoren** bezeichnen Bereiche, welche gegeben sind und nicht vorgängig oder explizit beeinflusst werden können. Es ist möglich, dass sich diese im Laufe der Zeit durch die Anwendung von MBSE ändern oder anpassen.
- **Voraussetzungen** können aktiv geschaffen und vorbereitet werden. Diese Bereiche können vor der Einführung beeinflusst werden.
- **Unterstützung und Zusicherungen** müssen vor der Einführung zu einem gewissen Teil eingeholt werden, damit gestartet werden kann.

Diese Bereiche und deren genaue Ausgestaltung werden in den unten angegebenen Annahmen detaillierter beschrieben und erklärt.

Die zweite Ebene, dargestellt in Abbildung 5-2, beschreibt die unterschiedlichen Arten des Nutzens und deren Zusammenhänge. Die Bezeichnungen «direkt» und «indirekt», bezogen auf den Nutzen, werden hier entsprechend der Definition in Kapitel 3 verwendet. «Indirekt» kann sich bei der Umsetzung in einem Projekt auf mehrere Monate (von Meilenstein zu Meilenstein) oder sogar über Jahre (von Projekt zu Projekt) beziehen.

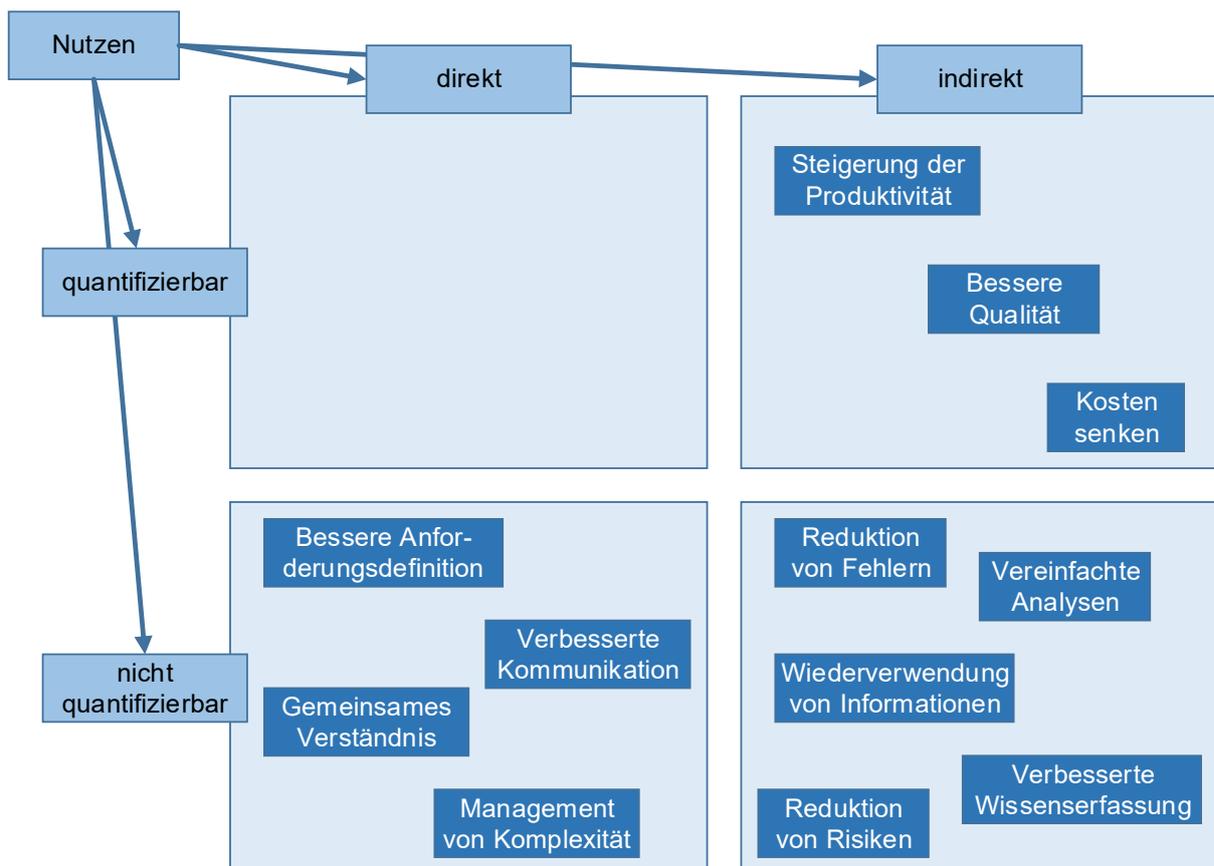


Abbildung 5-2: Zweite Ebene des theoretischen Modells des Nutzens von MBSE (Eigendarstellung Bernd Walser)

Dieses Nutzenmodell basiert auf unterschiedlichen Annahmen, welche vom Autor aus der Literaturrecherche abgeleitet wurden. Falls sich diese Annahmen im Laufe der empirischen Forschungen nicht bestätigen oder abändern, wird sich das Nutzenmodell entsprechend

verändern. Dies ist Gegenstand der Untersuchungsauswertungen, welche in Kapitel 9 besprochen werden.

Im Folgenden werden die getroffenen Annahmen, für das in Abbildung 5-1 und Abbildung 5-2 dargestellte Nutzenmodell, genauer erläutert.

Annahme 1:

Die Unterstützung durch das Management ist eine Grundvoraussetzung für die Einführung von modellbasiertem Systems Engineering.

Nur wenn das Management seine Unterstützung zur Einführung von MBSE zusichert, besteht eine Aussicht auf Erfolg. Diese Zusicherung ermöglicht es, die Grundvoraussetzung für die Einführung zu schaffen. Die Planung der unterschiedlichen Phasen der Einführung und die Installation eines kontinuierlichen Verbesserungsprozesses gehören zu diesen Voraussetzungen. In die Einführungsphasen können individuelle Vorgehensmodelle zur Nutzenbestimmung eingebettet werden und zum Beispiel Potenzialmodelle oder Soll-Ist-Vergleiche initiiert werden.

Die Unterstützung des Managements muss so weit gehen, dass es möglich ist, neue Rollen zu definieren oder Entwicklungsprozesse umzustellen.

Annahme 2:

Die aktive Berücksichtigung und Betreuung der externen Einflussfaktoren bilden ein zentrales Erfolgselement bei der Einführung von MBSE.

Externe Einflussfaktoren sind oft nicht direkt sichtbar oder offensichtlich und beeinflussen die Einführung so stark, dass sie ein Scheitern der Umsetzung von MBSE verursachen können. Die Kultur in einem Unternehmen hat sich über Jahre oder Jahrzehnte entwickelt. Ebenso sind die Art der Organisation und die Entwicklungsprozesse ein fester Bestandteil in den Projekten und die Leute sind daran gewöhnt. Ein weiterer Aspekt stellen Stakeholder dar, welche indirekt mit den Entwicklungsprojekten und der Einführung von MBSE zu tun haben, aber trotzdem einen starken Einfluss auf Änderungen in den Prozessen und auf die Personen im Unternehmen haben.

Wenn die Personen, die direkt oder indirekt durch die Einführung von MBSE betroffen sind, nicht aktiv begleitet und mit einbezogen werden, dann besteht eine grosse Gefahr, dass sich Widerstände aufbauen.

Annahme 3:

Voraussetzungen im Bereich IT-Infrastruktur und Wissen müssen geschaffen werden, um eine erfolgreiche und nutzenbringende Einführung von MBSE zu gewährleisten.

Nur wenn eine IT-Infrastruktur mit Modellierungswerkzeug und Zugang für alle Projektbeteiligten verfügbar ist, dann kann mit MBSE gestartet werden. Eine zweite sehr wichtige Voraussetzung ist das Vorhandensein von Wissen im Bereich von Systems Engineering. Dieses Wissen umfasst die Bereiche Modellierungssprache, Modellierungswerkzeug und Methode und muss vor der

Einführung vorhanden sein, um starten zu können. Falls das Wissen im Unternehmen nicht vorhanden ist, kann es auch von aussen über Berater und Coaches erworben werden.

Damit das Wissen auch weitergegeben, verteilt und vergrössert werden kann, müssen Trainings zur Verfügung stehen. Diese Schulungen können unternehmensintern durchgeführt oder vor allem in der Anfangsphase durch externe Partner angeboten werden.

Annahme 4:

Sobald Nutzen durch MBSE sichtbar und bekannt wird, entsteht eine positive Beeinflussung der externen Einflussfaktoren und der Unterstützung durch das Management.

Die Unterstützung durch das Management und die externen Einflussfaktoren bilden mit dem Nutzen einen Kreislauf. Sobald Nutzen sichtbar wird, erhöht sich die Bereitschaft zur Unterstützung und die Veränderungen werden positiv wahrgenommen. Die Umkehrung ist ebenfalls denkbar. Wenn über eine längere Zeit kein Nutzen erkannt wird, dann schwindet die Unterstützung auf allen Ebenen.

Aus diesem Grund ist es wichtig, jeden Erfolg und jeden erkennbaren Nutzen aus der Anwendung von MBSE den betroffenen Mitarbeitenden und Stakeholdern mitzuteilen.

Annahme 5:

Quantifizierbarer Nutzen wird nur längerfristig und indirekt sichtbar.

Der quantifizierbare Nutzen im Bereich verbesserter Qualität, reduzierter Kosten und gesteigerter Produktivität, wird erst nach längerer Zeit erkennbar werden. Ein Beispiel, das hier angeführt werden kann, ist die Wiederverwendbarkeit des Modells oder von Artefakten aus dem Modell. Die Wiederverwendung wird sich jedoch erst beim zweiten oder dritten Projekt zeigen. Der Rückschluss dieses Nutzens wird nicht direkt und eindeutig auf die Einführung von MBSE zurückzuführen sein. Es wird immer Argumente geben, die den Nutzen auf andere Einflussfaktoren als MBSE zurückführen.

Ein direkt quantifizierbarer Nutzen ist während der Einführung von MBSE, respektive während der Durchführung eines Projekts nicht erkennbar. Erst wenn das Projekt abgeschlossen ist, kann sich durch Vergleich mit anderen, ähnlichen Projekten ein quantifizierbarer Nutzen ergeben.

Annahme 6:

Während der Einführung kann nur der nicht quantifizierbare Nutzen zur positiven Beeinflussung der externen Einflussfaktoren und des Managements verwendet werden.

Der nicht quantifizierbare Nutzen äussert sich sowohl direkt, als auch indirekt. Das bedeutet, dass sobald mit der Umsetzung von MBSE gestartet wird, sich Nutzen in irgendeiner Art zeigen sollte. Der Nutzen sollte sich über die Zeit verstärken und in neue Bereiche vordringen. Zum Beispiel könnte sich der Nutzen in einer vereinfachten Analyse im Fehler- oder Problemfall zeigen. Dies

wird jedoch erst sichtbar, wenn ein Fehler oder Problem grösseren Ausmasses auftritt und das Modell, als Resultat von MBSE, zur Lösung oder Behebung verwendet werden kann.

Um den Nutzen zu erkennen, kann es sinnvoll sein, diesen in Kategorien einzuordnen. Damit wird die Identifikation von Nutzen vereinfacht und der Nutzen kann somit besser bekannt gemacht werden.

6 THEORIE DER EMPIRISCHEN FORSCHUNG

Die empirische Forschung zielt auf die Erfahrungswirklichkeit ab. Im Verlauf dieser Forschung werden wissenschaftliche Theorien über den Forschungsgegenstand angewandt, geprüft oder gebildet und weiterentwickelt. Es werden verschiedene wissenschaftstheoretische Paradigmen verwendet, insbesondere die quantitative und die qualitative Forschung. Zusätzlich gibt es noch den «Mixed-Methods» Ansatz, welcher die Verbindung von quantitativer und qualitativer Forschung darstellt (Baur & Blasius, 2014; Bortz & Döring, 2015).

6.1 Quantitative Forschung

Die quantitative Forschung ist ein linear organisierter Prozess, welche mit einer theoretischen Reflexion startet und dann den Forschungsprozess in einzelne Arbeitsschritte aufteilt. Aus der Theorie werden Hypothesen gebildet und im Verlauf der Forschung werden diese Hypothesen überprüft, indem Zusammenhänge systematisch erfasst werden. Wie der Begriff «quantitativ» sagt, geht es bei dieser Forschungsmethode um die Erfassung von zählbaren Daten. Daher wird die Datenerhebung oft über standardisierte Umfragen erhoben, aus welchen numerische Daten resultieren. Diese Resultate können mittels statistischer Methoden einer Datenanalyse unterzogen werden. Die quantitative Forschung wird dort angewandt, wo Zusammenhänge und Gesetzmässigkeiten überprüft werden sollen (Baur & Blasius, 2014; Bortz & Döring, 2015; Mayer, 2013).

6.2 Qualitative Forschung

Das Ziel der qualitativen Forschung ist die Erfassung und das Verständnis von Problemen oder Phänomenen im jeweiligen Kontext. Es geht dabei um die Interpretation von nicht-numerischem Datenmaterial, welches zum Beispiel durch Leitfadeninterviews gewonnen wird. Der Forschungsprozess ist zirkulär gestaltet, wobei sich Datenauswahl, Datenerhebung und Datenanalyse mit der theoretischen Reflexion iterativ abwechseln. Bei der qualitativen Forschung gilt es Theorien aus empirischen Untersuchungen zu entwickeln (Baur & Blasius, 2014; Bortz & Döring, 2015; Mayer, 2013).

6.3 Mixed-Methods Forschung

Der Mixed-Methods Ansatz ist eine Kooperation und Integration der quantitativen und qualitativen Forschung und ermöglicht so eine umfassendere Bearbeitung des Forschungsproblems. Durch die Integration der verschiedenen Forschungsstrategien und Datenquellen wird eine verbesserte Absicherung der Ergebnisse ermöglicht. Es ist zu berücksichtigen, dass der Aufwand dieses Forschungsansatzes in der Regel grösser ist, als beim quantitativen oder qualitativen Ansatz. Zur Umsetzung stehen diverse Kombinationsstrategien zur Koppelung des quantitativen und

qualitativen Forschungsprozesses zur Verfügung. Diese Strategien berücksichtigen jeweils die unterschiedlichen Phasen des Forschungsprozesses, wie Forschungsfrage, Untersuchungsdesign, Datenerhebung, Datenanalyse und Interpretation. Die einfachste Form des Mixed-Methods Ansatzes bearbeitet das Forschungsproblem sequenziell und führt sowohl eine qualitative als auch eine quantitative Teilstudie durch und bezieht die Befunde direkt aufeinander (Baur & Blasius, 2014; Bortz & Döring, 2015).

7 FORSCHUNGSDESIGN UND -METHODE

Dieses Kapitel beschreibt das Forschungsdesign und die Forschungsmethode, welche bei dieser Arbeit angewandt wird. Im ersten Abschnitt wird die Auswahl der Forschungsmethode beschrieben und begründet. Der gesamte Forschungsprozess wird im zweiten Abschnitt vorgestellt. Der dritte Abschnitt beschreibt das Betrachtungsfeld der empirischen Erhebung und im vierten Abschnitt wird dargestellt, wie ein World Café Workshop zur Gewinnung erster Erkenntnisse verwendet wird. Der fünfte und letzte Abschnitt widmet sich der Auseinandersetzung mit den qualitativen Experteninterviews.

7.1 Auswahl der Methode

Gemäss den Ausführungen in Kapitel 4 gibt es diverse Studien und Analysen im Bereich des Nutzens von Systems Engineering. Es wurden spezielle Aspekte, wie zum Beispiel die Installation eines Systems Engineering Offices oder die Koppelung von MBSE mit PLM betrachtet. Auch gibt es breit angelegte Untersuchungen bezüglich des finanziellen Nutzens, wobei sich diese Untersuchungen auf Grossprojekte beziehen. Es existieren jedoch keine Studien, welche den Nutzen von MBSE gesamtheitlich untersuchen.

Die Forschungsfragen fokussieren auf den Nutzen von MBSE während der Einführung, was die Auswahl der Forschungsmethode direkt beeinflusst. Die Methode soll einen offenen Zugang zum Forschungsgegenstand ermöglichen und Personen, die die Einführung beeinflussen oder davon betroffen sind, sollen selbst zu Wort kommen. Damit entsteht die Möglichkeit, dass die subjektiven Kenntnisse und Empfindungen von Experten/Expertinnen und Betroffenen im Detail erfragt werden können.

Bis heute existiert keine gesamtheitliche Theorie zum Nutzen vom MBSE. Für die Erstellung einer Gegenstandsbeschreibung inklusive Theorie bietet sich der qualitative Forschungsansatz an. Dabei werden offene Forschungsfragen, wie sie hier vorliegen, an wenigen Untersuchungseinheiten detailliert mit unstrukturierten oder teilstrukturierten Datenerhebungsmethoden untersucht (Bortz & Döring, 2015).

Für die Datenerhebung bietet sich das Experteninterview an. Bogner, Littig und Menz (2014) unterscheiden drei Arten von Wissen, welche von Interesse sein können

- **Technisches Wissen:** Darunter werden Daten, Fakten, „sachdienliche Informationen“ und Tatsachen verstanden.
- **Prozesswissen:** Das umfasst Einsicht in Handlungsabläufe, Interaktionen, organisationale Konstellationen und Ereignisse.
- **Deutungswissen:** Dieses Wissen beinhaltet die subjektiven Relevanzen, Sichtweisen, Interpretationen, Deutungen, Sinnentwürfe und Erklärungsmuster der ExpertInnen. Das Deutungswissen umfasst zugleich auch die normativen Dispositionen: Zielsetzungen, Bewertungen usw., und ist nicht nur „sachliches“ Wissen.

Die Erhebungsstrategien orientieren sich an den Wissensformen und müssen entsprechend ausgewählt werden. Um eine Theorie zu erarbeiten, ist das Deutungswissen von wesentlicher Bedeutung und für die Exploration von Deutungswissen sind die Experteninterviews besonders geeignet (Bogner et al., 2014).

Mittels Experteninterviews soll ein umfassendes und realitätsnahes Bild des Nutzens von MBSE vor und während der Einführung erstellt werden. Im Weiteren sollen in diesen Interviews die beeinflussenden Faktoren, Hindernisse und Voraussetzungen herausgearbeitet werden. Mittels der Durchführung der Experteninterviews haben die betroffenen Personen die Möglichkeit, ihre Sicht auf das Thema zu formulieren.

Um die Repräsentativität der Interviews zu erhöhen, wird bei der Auswahl der Interviewpartner darauf geachtet, dass nicht alle Personen aus der gleichen Firma oder demselben Umfeld stammen. Durch die breite Abdeckung wird erwartet, dass sich umfassendere Erkenntnisse ergeben.

Ergänzend zu den Experteninterviews wird vorgängig ein World Café durchgeführt, dessen Ziel das Generieren von neuem, kollektivem Wissen ist (Schieffer, Isaacs & Gyllenpalm, 2004). Dieses kollektive Wissen wird für die Erstellung des Interviewleitfadens verwendet und zusätzlich für die explorative Datenanalyse zur Ableitung des Nutzenmodells für MBSE.

7.2 Forschungsprozess

Abbildung 7-1 stellt den Forschungsprozess dar, welcher in der Masterarbeit angewandt wird (Bortz & Döring, 2015). Dieser berücksichtigt das zirkuläre Vorgehen der qualitativen Forschungsmethode.

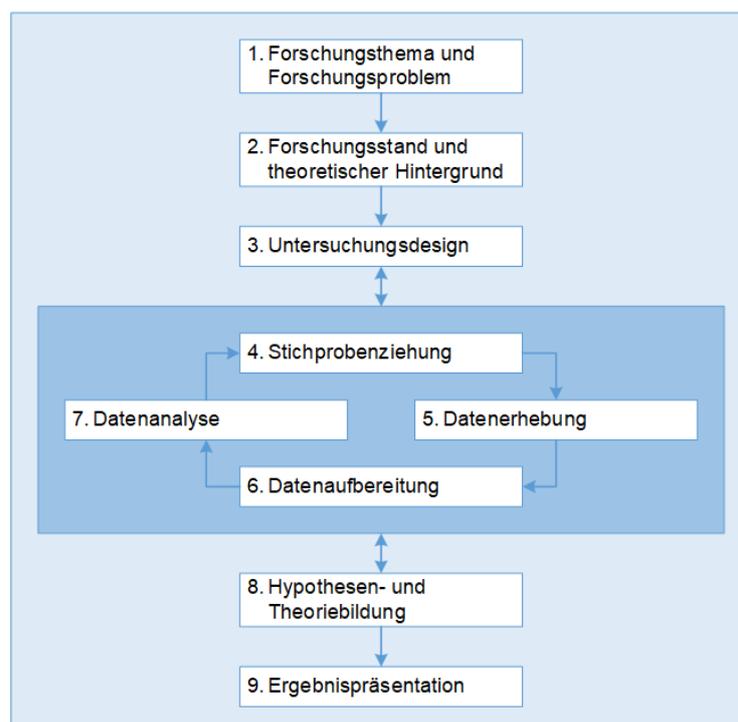


Abbildung 7-1: Schematische Darstellung des qualitativen Forschungsprozess (vgl. Bortz & Döring, 2015, S. 27)

Im Folgenden wird das Vorgehen für die einzelnen Schritte und die wissenschaftliche Methode dargestellt. In einem ersten Schritt werden das Forschungsthema und das Forschungsproblem definiert. Der Forschungsstand und der theoretische Hintergrund werden mittels einer Literaturrecherche erarbeitet. Im Untersuchungsdesign werden die geplanten Methoden der Datenerhebung und Auswertung spezifiziert. Die Datenerhebung wird mittels Experteninterviews unter Berücksichtigung eines Leitfadens durchgeführt. Basierend auf der Literaturrecherche und einer Befragung der betroffenen Personen in einem World Café wird der Leitfaden erstellt.

Die Definition der Stichprobe, die Datenerhebung, die Datenaufbereitung und die Datenanalyse werden iterativ durchlaufen. Die Stichprobe in der Grössenordnung von 5-8 Personen wird vorwiegend aus Angestellten von drei Firmen bestehen, welche aktuell Systems Engineering einführen. Um sicherzustellen, dass der Leitfaden auch die gewünschten Resultate der Befragung liefert, ist ein Probeinterview geplant (Mayer, 2013). Die Auswertung der Interviews wird anhand einer transkribierten Audioaufnahme durchgeführt (Mayer, 2013; Mayring, 2015). Für das Transkribieren und die Auswertung ist die Verwendung einer Software wie MAXQDA (www.maxqda.de) oder NVIVO (www.qsrinternational.com) geplant (Flick, 2017; Kuckartz, 2018).

Basierend auf den ausgewerteten Interviews wird eine Theorie bezüglich des Nutzens von MBSE erstellt und die Ergebnisse in die Masterarbeit integriert.

7.3 Betrachtungsfeld der Untersuchungen

Die Hauptforschungsfrage fokussiert auf die Einführung von MBSE in Industrieunternehmen. Aus diesem Grund werden die Experten und Expertinnen für die Interviews in Unternehmen gesucht, welche aktuell Systems Engineering einführen. Es wird bewusst darauf verzichtet, Experten oder Expertinnen in Firmen zu interviewen, die Systems Engineering bereits eingeführt haben, da diese Personen möglicherweise einen anderen Fokus auf den Nutzen haben und somit das Bild verändern würden.

Es konnten drei Firmen identifiziert werden, welche aktuell Systems Engineering oder modellbasiertes Systems Engineering einführen. Diese drei Firmen werden im Folgenden beschrieben.

Firma A

Firma A ist ein Traditionsunternehmen mit Mitarbeiterzahlen im Bereich von 1'000 – 5'000 Personen. Der Fokus dieser Firma ist die Entwicklung, die Herstellung, der Vertrieb und der Support von komplexen mechatronischen und zum Teil cybertronischen Produkten für professionelle Anwender. Die Produkte werden weltweit vertrieben und in diversen Ländern hergestellt. Die Entwicklungsabteilung setzt sich bereits seit 2016 mit ersten Ansätzen von Systems Engineering auseinander und Ende 2018 wurde nach einem Proof-of-Concept Projekt entschieden, dass drei Pilotprojekte Anfang 2019 gestartet werden.

Firma B

Firma B besteht bereits seit mehreren Jahrzehnten und beschäftigt mehr als 1'000 Mitarbeitende. Dieses Unternehmen entwickelt, fertigt und vertreibt professionelle Produkte im Bereich Gebäudeautomation und operiert weltweit. Aufgrund der kontinuierlichen Zunahme der

Komplexität, der Vernetzung ihrer Produkte und der Erschliessung neuer Märkte, hat sich das Unternehmen im Jahre 2018 entschieden, Systems Engineering einzuführen.

Firma C

Firma C ist ein Traditionsunternehmen mit vielen Jahrzehnten Erfahrung in der Entwicklung ihrer Produkte und beschäftigt über 1'000 Mitarbeitende. Die Produkte, die in diesem Unternehmen entwickelt, gebaut und vertrieben werden, werden weltweit für die Gebäudeinfrastruktur eingesetzt. Aufgrund der zunehmenden Diversität der Produkte hat sich die Firma schon seit mehreren Jahren mit Systems Engineering auseinandergesetzt und sich im Jahre 2018 entschieden, SE einzuführen. Aktuell läuft die Einführungsphase, in welcher unter anderem Mitarbeiter und Mitarbeiterinnen geschult und Prozesse entwickelt werden.

7.4 World Café zur Evaluierung der Erwartungen an den Nutzen von modellbasiertem Systems Engineering

Mittels eines World Cafés sollen die Bedenken, Wünsche und Vorstellungen der Personen, die in einem MBSE Pilotprojekt arbeiten, abgeholt werden. Das Resultat des World Cafés wird für die Erstellung des Interviewleitfadens verwendet, um die Erkenntnisse aus der Literaturrecherche mit den Erwartungen aus der Praxis zu kombinieren. Zusätzlich können die Aussagen aus diesem Workshop verwendet werden, um die Aussagen aus den Experteninterviews zu stützen, zu ergänzen oder in Frage zu stellen.

Im ersten Teil wird die Motivation, die zur Verwendung des World Cafés geführt hat, erläutert. Im zweiten Teil wird die Methode World Café erläutert und beschrieben, wie es durchgeführt wird. Anschliessend wird auf die Durchführung des Workshops eingegangen und im letzten Teil dieses Abschnitts wird die Auswertemethode besprochen.

7.4.1 Motivation zur Verwendung des World Cafés

Schieffer et al. (2004) sehen im World Café eine faszinierende Möglichkeit, für eine Organisation oder eine Gruppe neue Wege kollektiven Denkens zu beschreiten und Handlungsoptionen zu entwickeln. Diese Möglichkeit soll in dieser Arbeit genutzt werden, um die Erwartung der beteiligten Personen in den Pilotprojekten zur Einführung von Systems Engineering bezüglich des Nutzens zu erfassen. Basierend auf den kollektiven Erwartungen und den damit verbundenen Themen kann zum einen ein Beitrag zum Interviewleitfaden geleistet und zum anderen können Einsichten in Relation zu den Interviewresultaten gewonnen werden.

Mittels der Durchführung eines World Cafés kann die Meinung und die Erwartung einer grösseren Gruppe von beteiligten Personen abgeholt und erarbeitet werden. Dies stellt einen Kontrast zu den Experteninterviews dar, wo jeweils die Meinung und die Erwartung einer einzelnen Person abgefragt werden. Dieser Kontrast und die Möglichkeit, Zugang zu einer grösseren Gruppe zu bekommen, haben dazu geführt, dass das World Café ergänzend zu den Experteninterviews in dieser Arbeit eingesetzt wird.

7.4.2 Die Methode World Café

Das World Café ist eine Moderationsform für grössere Gruppen und bedient sich der Methode des kollaborativen Dialogs. Es wurde erkannt, dass direkte Gespräche einen wesentlichen Beitrag zu Erarbeitung gemeinsamer Einsichten, zu Klärungen und zur Lösungsfindung leisten. In kurzer Zeit können individuelle Erfahrungen und Fragen mit diversen anderen Personen verknüpft und ausgetauscht werden (Hinnen & Krummenacher, 2017; The World Café Community Foundation, 2015).

Die Methode wurde 1995 von Juanita Brown und David Isaacs zufällig entdeckt, als sie einen strategischen Dialog bezüglich intellektuellen Kapitals moderieren mussten (Brown & Isaacs, 2005, S. 14–15). Der Ansatz basiert darauf, dass sich kleine Gruppen von bis zu 5 oder 6 Leuten an verschiedenen Tischen treffen und über bestimmte Fragen austauschen. Dieser Austausch dauert ca. 20 Minuten. Danach wechseln die Teilnehmer in einer zweiten Runde den Tisch und diskutieren mit neuen Leuten die eigenen Gedanken und die der Vorgänger von diesem Tisch. In einer dritten Runde werden die Tische nochmals gewechselt und der Gedankenaustausch wiederholt. Mit drei Runden erreicht man eine nahezu perfekte Vernetzung der teilnehmenden Personen (Hinnen & Krummenacher, 2017; The World Café Community Foundation, 2015).

Um ein World Café durchzuführen, müssen 7 Kernprinzipien berücksichtigt werden (Brown & Isaacs, 2005, S. 40; The World Café Community Foundation, 2015):

- Kontext festlegen, indem den Teilnehmern und Teilnehmerinnen erläutert wird, welchem Zweck das World Café dient und was der Rahmen der Gespräche ist.
- Einen gastfreundlichen Raum bereitstellen, der sich sicher und einladend anfühlt und eine angenehme Atmosphäre schafft.
- Fragen überlegen und bereitstellen, die auf kollektive Aufmerksamkeit ausgerichtet sind und kollaboratives Engagement unterstützen.
- Alle Teilnehmenden ermutigen, aktiv etwas beizutragen und sich einzubringen, wobei auch reines Zuhören erlaubt ist.
- Unterschiedliche Perspektiven verbinden, indem die Personen zwischen den Tischen wechseln können und so neue Leute treffen.
- Heraushören von Mustern und Einsichten durch aufmerksames Verfolgen der Diskussionen.
- Teilen und sammeln von kollektiven Erkenntnissen, indem das gemeinsam erarbeitete Wissen sichtbar gemacht wird.

Die World Café Etikette ist ein weiterer Bestandteil, der berücksichtigt werden sollte. Sie sollte auf allen Tischen aufliegen und Hinweise geben, wie gearbeitet werden soll (The World Café Community Foundation, 2015):

- Fokussieren auf das, was wichtig ist
- Eigene Ansichten und Gedanken beitragen

- Mit Herz und Verstand sprechen und hören
- Einander zuhören, um neue Erkenntnisse, Muster und Einsichten zu entdecken
- Ideen verknüpfen und verbinden
- Hinhören, um wirklich zu verstehen
- Spielen, kritzeln, malen
- Spass haben

Hinnen und Krummenacher (2017) gehen davon aus, dass ein World Café in seiner einfachsten Form knappe zwei Stunden dauert und definieren die einzelnen Schritte dazu folgendermassen:

1. **Begrüssung und Einführung:** Die Leute werden willkommen geheissen, auf das Thema eingestimmt und die Grundprinzipien und die Café-Etikette werden erläutert. Zudem wird für jeden Tisch ein/eine TischgastgeberIn bestimmt, der/die über alle Runden am Tisch bleibt und bei den Wechseln in die Tischdiskussion einführt.
2. **Erste Frage:** Die Veranstaltung wird mit einer ersten vorbereiteten Frage eröffnet und es werden alle gebeten, zuzuhören und sich einzubringen. Die Erkenntnisse aus den Diskussionen sollen auf den Tischtüchern visualisiert werden. Nach 20 Minuten werden alle gebeten, die Tische zu wechseln.
3. **Zweite Frage:** Die Neuankömmlinge werden durch den/die GastgeberIn begrüsst und über die bisherigen Inhalte aufgeklärt. Nun können alle ihre Erfahrungen und Impulse mit den bereits vorhandenen Gedanken verknüpfen und sich anschliessend mit der zweiten Frage auseinandersetzen. Wieder nach 20 Minuten werden alle gebeten, den Tisch zu wechseln.
4. **Dritte Frage:** Hier wiederholt sich der Ablauf analog der zweiten Frage. Die Gastgeber fassen das Wesentliche aus den beiden vorherigen Runden kurz zusammen, die Neuankömmlinge teilen ihre Erfahrungen mit und widmen sich dann der dritten Frage.
5. **Muster erkennen:** Nach Abschluss der dritten und letzten Runde werden alle gebeten, in Ruhe die entdeckten Muster und Erkenntnisse herauszufiltern. Zum Schluss werden die Erkenntnisse graphisch und visuell umgesetzt und im Plenum eingebracht.

Die Internetseite von «The World Café Community Foundation» (<http://www.theworldcafe.com>) stellt diverse Anleitungen und Vorlagen zur Verfügung, welche bei der Durchführung eines World Cafés verwendet werden könne. Für die Durchführung wurden die folgenden Vorlagen verwendet:

- Tischkarten mit der World Café Etikette
- World Café Checkliste

7.4.3 Durchführung des World Cafés

Abgeleitet von den Forschungsfragen werden die folgenden drei Fragen am World Café gestellt:

1. Wo erwarten wir Nutzen durch die Einführung und Anwendung von modelbasiertem Systems Engineering?
2. Was könnte uns hindern, dass MBSE seinen Nutzen entfaltet?
3. Woran und wie erkennen wir, dass MBSE einen (messbaren) Nutzen bringt?

Die Auswahl der TeilnehmerInnen erfolgt nach demselben Ansatz wie für die qualitativen Interviews, siehe Absatz 7.5.3. Aus praktischen Gründen werden nur Personen der Firma A eingeladen. Das wesentlichste Kriterium, das alle TeilnehmerInnen erfüllen müssen, ist, dass sie in den Pilotprojekten zur Einführung von MBSE mitarbeiten. Damit wird sichergestellt, dass die Erwartungen und Bedenken einen direkten Bezug zur Arbeit der Betroffenen haben und somit eine grössere Identifikation stattfindet. Weitere Kriterien, die bei der Auswahl betrachtet werden, sind die folgenden. Für jede Variation ist in Klammern die Anzahl Personen angegeben, die teilgenommen haben:

- **Vertreter unterschiedlicher Disziplinen:** Produkt Manager (2), Projekt Manager (2), Elektronik (1), Konstruktion (3), Software (5), System Architekt (2), Optikdesign (1)
- **Erfahrung mit Systems Engineering:** Keine (8), Wenig (5), Mittel (3), Viel (0)
- **Erfahrung in der Produktentwicklung:** Keine (0), Wenig (0), Mittel (7), Viel (9)

Die Erfahrung der Personen wird mit der relativen Bewertung keine, wenig, mittel und viel Erfahrung angegeben. Damit wird die Variationsbreite gezeigt, es können aber keine Rückschlüsse auf eine absolute Erfahrung gezogen werden.

Die Agenda des World Cafés orientiert sich an den Angaben des vorangegangenen Kapitels 7.4.2 und besteht aus den folgenden Punkten:

- Begrüssung und Einleitung
- Drei Runden mit je einer Frage
- Erkennen von Mustern und Aufbereitung der Resultate
- Vorstellung der Erkenntnisse

Die Teilnehmenden wurden in 4 Gruppen à jeweils 4 Personen eingeteilt. Abbildung 7-2 zeigt den vorbereiteten Raum und die Teilnehmer bei der Bearbeitung einer Frage. Die Fragen und die World Café Etikette wurden auf allen Tischen verteilt, so dass während der gesamten Durchführung diese Informationen präsent waren.



Abbildung 7-2 a) Vorbereiteter Raum, in welchem das World Café durchgeführt wird. b) Teilnehmer bei der Arbeit.

Die Erkenntnisse wurden während der drei Besprechungen auf Flip-Chart Papier aufgezeichnet und notiert. Abbildung 7-3 zeigt ein Beispiel aus dem World Café. Diese Resultate wurden am Ende zusammengefasst und dem Plenum präsentiert. Für eine bessere Auswertung der Erkenntnisse wurde die Präsentation der Resultate videographisch aufgezeichnet.

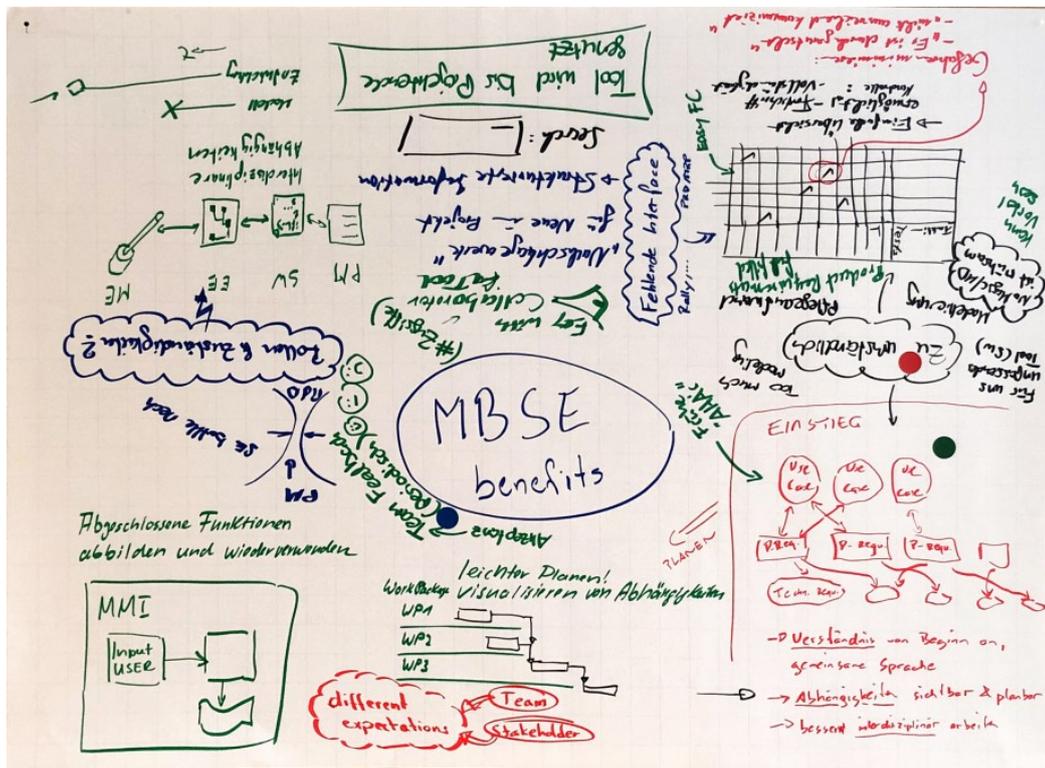


Abbildung 7-3: Beispiel eines Resultats aus dem World Café

Die Präsentation, welche den Teilnehmenden am World Café gezeigt wurde, ist in Anhang D dargestellt.

7.4.4 Beschreibung der Auswertemethode

Die Auswertung zielt darauf ab, Fragen entsprechend den Vorgaben in Abschnitt 7.5.2 zu generieren und Kategorien zu identifizieren, die mit den Resultaten der Experteninterviews verglichen werden können. Die Erkenntnisse und Aussagen auf den Flip-Charts kombiniert mit den Videoaufnahmen der Abschlusspräsentation wurden tabellarisch aufgenommen. Dabei wurden die Kommentare aus den Videoaufnahmen nicht komplett transkribiert, sondern es wurden nur die Hauptaussagen aufgenommen. Diese Aussagen wurden möglichst wortgetreu wiedergegeben und wenn nötig Anpassungen aufgrund von Dialektfärbungen vorgenommen.

Die Auswertung wird in Anlehnung an Mayer (2013) in einer angepassten Form durchgeführt:

- Erstellen von Kategorien basierend auf den Aussagen
- Jede Aussage wird einer oder mehrere Kategorien zugeordnet
- Logik zwischen den Kategorien herstellen und Kategorien sortieren

Die transkribierten Hauptaussagen und die Zuweisung zu den unterschiedlichen Kategorien sind in Anhang D aufgelistet. Die Auswertung und Interpretation der Aussagen sind in Abschnitt 8.1 dargestellt.

7.5 Experteninterviews

In Abschnitt 7.1 wird erklärt, wieso die qualitative Forschungsmethode verwendet, und dass die Datenerhebung mittels Experteninterviews durchgeführt wird. In diesem Abschnitt wird die Erhebungsmethode «Experteninterview» erläutert und die Erstellung des Interviewleitfadens dargestellt. Im Weiteren wird beschrieben, wie die Stichprobe der zu befragenden Personen ermittelt wird und welches Auswerteverfahren zum Einsatz kommt.

7.5.1 Erhebungsmethode

Die Datenerhebung wird mittels leitfadengestützten Experteninterviews durchgeführt. Bogner et al. (2014, S. 22) führen aus, dass das Experteninterview eine zentrale Stellung im Forschungsdesign einnimmt und wichtige Erklärungen, Begründungen und Zusammenhänge des Forschungsvorhabens wissenschaftlich erarbeitet. Sie fassen diesen Sachverhalt folgendermassen zusammen:

Ziel des Interviews ist es, für die umrissene Fragestellung genügend Material zu generieren. Anhand dieses Materials können dann in der Auswertungsphase durchaus auch allfällige Arbeitshypothesen überprüft werden, die gegebenenfalls bereits vorher vorlagen; vor allem aber dient das Material dazu, Hypothesen zu entwickeln und Aussagen über Zusammenhänge sowie Theorien empirisch zu begründen (Bogner et al., 2014, S. 32).

Im theoriegenerierenden Experteninterview wird ein Experte oder eine Expertin als Vertreter einer bestimmten Gruppe angesprochen und wird nicht nur bezüglich Fachwissens im engeren Sinne,

sondern auch bezüglich Wissen für den professionellen Handlungsrahmen befragt. «Theoriegenerierend» bedeutet, dass die Auseinandersetzung mit dem empirischen Datenmaterial darauf abzielt, Zusammenhänge zu erarbeiten und Theorien zu entwickeln (Bogner et al., 2014).

7.5.2 Erstellung des Interviewleitfadens

Der Interviewleitfaden wird nach dem Prozess von Bogner et al. (2014) konstruiert. Er dient der Strukturierung des Themenfeldes der Untersuchung und als dediziertes Hilfsmittel während der Erhebungssituation. Der Leitfaden, welcher während des Experteninterviews als Gedächtnisstütze dient, wird gemäss den folgenden Schritten entworfen (Bogner et al., 2014, S. 32–34):

1. **Sammlung und Systematisierung:** Es werden sämtliche Forschungsfragen- und Hypothesen zusammengestellt und in mehreren Schritten systematisiert und reduziert. Dies geschieht theoretisch angeleitet und es entsteht ein Katalog an Fragen, die mittels der empirischen Erhebung untersucht werden.
2. **Methodenspezifizierung:** Für jede Frage wird geklärt, welche Erhebungsmethode zum Einsatz kommt. Die Fragen, die nicht für ein Experteninterview geeignet sind, werden aussortiert. Zudem kann in diesem Schritt die Form des Experteninterviews festgelegt werden.
3. **Gruppierung:** Die Fragen werden sortiert und in grössere Themenblöcke zusammengefasst. Diese Themenblöcke werden mit Oberbegriffen oder Leitfragen verknüpft.
4. **Entwurf von Leitfadenfragen:** In diesem Schritt geht es um die Formulierung der Interviewfragen, die dann auch tatsächlich gestellt werden. Sie dienen dem Ziel, eine Gesprächssituation herzustellen, in welchen die ExpertInnen Informationen preisgeben oder deutungsbasierte Aussagen machen, die für die Forschungsfragen relevant sind.
5. **Differenzierung von Fragetypen:** Hier passiert eine Aufteilung in unterschiedliche Leitfadenfragen, mit Hauptfragen und untergeordneten Fragen, sowie mögliche Nachfragen. Alle diese Fragen werden gruppiert und in eine Reihenfolge gebracht.
6. **Pretest:** Mit dem Pretest wird der Interviewleitfaden auf seine Funktionalität und Umsetzung in der Praxis geprüft. Die Dauer des Interviews kann getestet werden und die befragte Person kann Auskunft über fehlende oder schwer verständliche Fragen geben.

Interviewleitfaden

Die Formulierung der Fragen regt die befragten Personen unterschiedlich zum Reden an. Dies kann von kappen Ja-/Nein-Antworten bis zu ausführlichen Berichten und Stellungnahmen reichen. Daher sind die Frageformen entsprechend den interessierenden Konstellationen zu wählen (Bogner et al., 2014).

Bogner et al. (2014) schlagen fünf Fragetypen für das Experteninterview vor

- Erzählungsgenerierende Fragen
- Stellungnahmen und Bewertungsfragen
- Sondierungen
- Faktenfragen
- Thematische Steuerung

Für deutungswissensorientierte Experteninterviews sind vor allem Stellungnahmen und Bewertungsfragen relevant. Vorrang sollten jedoch zunächst erzählungsgenerierende Fragen haben, die anschliessend durch Bewertungsfragen ergänzt werden (Bogner et al., 2014).

Unter Berücksichtigung der oben angeführten Punkte ist der für die Datensammlung entwickelte Interviewleitfaden im Folgenden dargestellt.

Einleitende Fragen

- *Wie lange beschäftigen Sie sich schon mit der Produktentwicklung?*
 - *Was war Ihr wesentliches Betätigungsfeld?*
 - *Was ist aktuell Ihre Rolle?*
- *Wie lange beschäftigen Sie sich schon mit Systems Engineering?*
 - *Was sind Ihre Erfahrungen mit SE?*
 - *Wie unterscheiden Sie zwischen SE und MBSE?*

Unterstützung und Zusicherungen durch das Management

1. *Welche Zusicherungen soll das Management machen, damit mit der Einführung von Systems Engineering und MBSE gestartet werden kann?*
 - a. *Wie könnte gestartet werden?*
 - b. *Wo könnten sich beim Management Widerstände ergeben?*
2. *Welche organisatorischen Änderungen sind nötig?*
 - a. *Wie könnten diese umgesetzt werden?*
 - b. *Was meinen Sie zur Definition von spezifischen Rollen?*
3. *Welcher potenzielle Nutzen könnte zur Gewinnung des Managements aufgeführt werden?*

Externe Einflüsse (Kultur, Prozesse, andere Leute, andere Disziplinen)

4. *Welche externen Einflüsse sehen Sie, die bei der Einführung von MBSE berücksichtigt werden müssen?*
 - a. *Was haben bestehende Prozesse für einen Einfluss?*
 - b. *Wie wirkt sich die Organisationsstruktur auf die Einführung aus?*
 - c. *Wo erwarten Sie kulturelle Einflüsse?*
5. *Welches sind die wichtigsten Stakeholder, die nicht direkt mit der Einführung von MBSE (in Entwicklungsprojekten) zu tun haben?*
6. *Was für Widerstände oder Hindernisse könnten sich ergeben?*
 - a. *Wie können diese Widerstände erkannt werden?*
 - b. *Was wären Ansätze, um dem Widerstand entgegen zu wirken?*

Voraussetzungen zur erfolgreichen Einführung von SE und MBSE (Training, Wissen, ...)

7. Was meinen Sie, welche Voraussetzungen müssen geschaffen werden, damit mit der Einführung von MBSE gestartet werden kann?
 - a. Wie schätzen Sie die Wichtigkeit eines Modellierungswerkzeugs ein?
 - b. Was muss zu Beginn an (IT-) Infrastruktur zur Verfügung gestellt werden?
8. Wie kann Expertenwissen in das Unternehmen gebracht werden?
 - a. Wie stehen Sie zu externen Beratern und Coaches?
 - b. In welchen Bereichen braucht es Expertenwissen (bezogen auf MBSE)?
9. Wie sollen die Personen im Unternehmen geschult werden?

Nutzen von MBSE

10. Wo sehen Sie Nutzen von MBSE?
 - a. Bezogen auf die Methode?
 - b. Bezogen auf das Modell?
 - c. Bezogen auf die Sprache?
11. Wie schätzen Sie die Messbarkeit des Nutzens von MBSE ein?
 - a. Welche initiale Voraussetzungen müssen für die Messbarkeit des Nutzens von MBSE geschaffen werden?
 - b. Wann tritt ein messbarer Nutzen zeitlich gesehen auf?
12. Mit welchen Ansätzen würden Sie Nutzen, der nicht quantifizierbar (messbar) ist, in der Organisation sichtbar machen?
13. In welche Kategorien würden Sie den Nutzen von MBSE einteilen?
14. Wie wirkt sich der Nutzen von MBSE auf die Organisation aus?
15. Erinnern Sie sich an Gegebenheiten im letzten Projekt, wo SE Ansätze etwas gebracht haben?

Abschliessende Fragen

- Was sind Ihrer Meinung nach die (drei) wichtigsten Punkte, die bei der Einführung von MBSE berücksichtigt werden müssen?
- Welcher Nutzen ist Ihrer Einschätzung nach der Wichtigste, um MBSE erfolgreich einzuführen?
- Wenn Sie wünschen könnten, wie würde die Anwendung von MBSE in 10 Jahren aussehen?
- Möchten Sie zum Abschluss noch etwas ergänzen?

Nach der Durchführung der ersten 4 Interviews hat sich ein gewisse Sättigung der Antworten in den Bereichen «Unterstützung und Zusicherungen durch das Management», «externe Einflüsse» und «Voraussetzungen zur erfolgreichen Einführung» ergeben, so dass bei den folgenden Interviews diese Themen etwas weniger ausführlich befragt wurden und mehr Fokus auf den Bereich «Nutzen» gelegt wurde.

Der Interviewleitfaden wird den ExpertInnen vorgängig nicht zur Verfügung gestellt. Damit wird erreicht, dass die Teilnehmenden spontane Äusserungen machen und keine vorher zurechtgelegten Antworten geben (Bogner et al., 2014).

Zu Beginn des Interviews wird die teilnehmende Person über das Ziel und den Zweck des Interviews informiert. Es wird das Thema der Masterarbeit erläutert und darauf hingewiesen, dass die Ergebnisse anonymisiert werden. Zudem wird eine Einverständniserklärung für das Anfertigen der Tonaufnahme eingeholt. Details diesbezüglich sind in Anhang E aufgeführt.

7.5.3 Stichprobe

Da es nicht möglich ist, alle Elemente einer Grundgesamtheit bei der empirischen Untersuchung zu betrachten, ist man auf die Ergebnisse einer sogenannten Stichprobe angewiesen. In der qualitativen Forschung kommen zwei Typen von Stichprobenbildung zum Einsatz. Die Stichprobe wird aufgrund von bestimmten Merkmalen vor der Untersuchung festgelegt (Vorab-Festlegung) oder die Stichprobe wird auf Basis des jeweils erreichten Kenntnisstandes während der Untersuchung schrittweise erweitert (theoretisches Sampling). Dieser Ansatz wird dann verwendet, wenn sich die genaue Fragestellung erst im Verlauf der Untersuchungen bildet (Mayer, 2013).

Flick (2017) beschreibt die Grenzen der Vorab-Festlegung darin, dass sich mit dieser Methode auf der Ebene der Variationsbreite kaum neue Erkenntnisse ergeben. Wenn die Entwicklung einer Theorie das Ziel der Untersuchung ist, wie in dieser Arbeit, dann wird durch die Methode der Vorab-Festlegung der Entwicklungsspielraum in einer wesentlichen Dimension eingeschränkt.

Flick (2017) schlägt für theorieentwickelnde Studien die Methode des theoretischen Samplings nach Glaser und Strauss (1998, S. 186) vor. Bei dieser Methode werden Entscheidungen über die Auswahl der Untersuchungsgruppen im Prozess der Datenerhebung und -auswertung getroffen.

Glaser und Strauss (1998) beschreiben diese Strategie folgendermassen:

Theoretisches Sampling meint den auf die Generierung von Theorien zielenden Prozess der Datensammlung, währenddessen der Forscher seine Daten parallel sammelt, kodiert und analysiert sowie darüber entscheidet, welche Daten als nächste erhoben werden sollen und wo sie zu finden sind, um seine Theorie zu entwickeln, während sie emergiert. Dieser Prozess der Datenerhebung wird durch die im Entstehen begriffene [...] Theorie kontrolliert (Glaser & Strauss, 1998).

Die Auswahl beim theoretischen Sampling kann entweder auf der Ebene von vergleichenden Gruppen getroffen werden oder sich direkt auf bestimmte Personen richten. Die Auswahl der konkreten Personen orientiert sich in beiden Fällen an der zu entwickelnden Theorie. Die Personen oder Gruppen werden anhand ihres Gehalts an Neuem für die zu entwickelnde Theorie, basierend auf dem bisherigen Stand der Entwicklung, in die Untersuchung einbezogen (Flick, 2017).

Flick (2017) beschreibt, dass aufgrund der prinzipiell unbegrenzten Möglichkeiten der Einbeziehung weiterer Personen Kriterien festgelegt werden müssen, mit welchen sich die Auswahl begründet einschränken lässt. Die Kriterien werden theoriebezogen festgelegt. Die Einbeziehung von weiterem Material oder Personen wird abgeschlossen, wenn sich nichts Neues mehr ergibt, was man als «theoretische Sättigung» bezeichnet.

In dieser Arbeit wird eine Kombination der Vorab-Festlegung und dem theoretischen Sampling angewandt. Dieses Vorgehen wird gewählt, da die zur Verfügung stehenden Experten in den drei erwähnten Firmen begrenzt sind und somit eine Vorab-Festlegung sich anbietet. Es soll aber die Möglichkeit offengelassen werden, weitere Experten zu befragen, falls sich im Laufe der Interviews und deren Auswertung neue Erkenntnisse ergeben.

Die gezielte Auswahl der Experten und Expertinnen, das heisst der zu befragenden Personen, orientiert sich in erster Linie an den Forschungsfragen. Es müssen Personen gefunden werden, die Auskünfte über den gewählten Forschungsstand geben können, wobei beachtet werden muss, dass der Pool an Experten nicht klar abgegrenzt werden kann. Bei den Personen wird neben der spezifischen Expertise aufgrund ihrer Position auch eine Entscheidungs- und Durchsetzungskompetenz vorausgesetzt. Neben den Forschungsfragen müssen auch forschungspraktische Erwägungen, wie finanzielle und zeitliche Ressourcen, berücksichtigt werden. Aufgrund dieser beschränkten Ressourcen ist eine Vollerhebung oft nicht möglich (Bogner et al., 2014).

Flick (2017) beschreibt mehrere Konzepte zur schrittweisen Auswahl von Experten und Expertinnen. Wird der oben angesprochene Punkt der finanziellen und zeitlichen Ressourcen berücksichtigt, dann bietet sich die Strategie der maximalen Variation im Sample an. Bei diesem Ansatz werden wenige, aber möglichst unterschiedliche Fälle einbezogen, um die Variationsbreite und die Unterschiedlichkeit zu erschliessen.

Es gibt ein zentrales Kriterium, das alle Stichproben erfüllen müssen:

Die befragte Person muss über **Erfahrung in der System- und Produktentwicklung** verfügen und muss in dieser Hinsicht als Experte oder Expertin fungieren können. Diese Erfahrung muss nicht explizit im Bereich von SE liegen, sondern allgemein in der Entwicklung von Produkten.

Damit neue Erkenntnisse gewonnen werden können, gibt es weitere Kriterien für die Auswahl der Stichproben:

- **Systems Engineering Erfahrungen:** Erfahrungen im klassischen, dokumentenbasierten Systems Engineering und im modellbasierten Systems Engineering ermöglichen die Auseinandersetzung mit dem Vergleich von traditionellen oder unstrukturierten Ansätzen.
- **Variation der Hierarchie (Führungsposition):** Die Einführung von SE oder MBSE bedingt einen Veränderungsprozess in der Produktentwicklung. Davon sind die Mitarbeitenden in unterschiedlichen Teams betroffen. Diese Teams werden entweder von einem Projekt-, Abteilungs- oder Teamleiter geführt. Diese Führungspersonen haben oft eine andere Sicht auf Methoden, Prozesse oder Umsetzungsstrategien als die ausführenden Personen. Eine Variation in diesem Bereich könnte Erkenntnisse in

unterschiedlichen Gebieten, wie zum Beispiel kurz- oder langfristige Einschätzung, ergeben.

- **Entwicklungsbereiche und Disziplinen:** In Entwicklungsprojekten arbeiten Personen aus unterschiedlichen Disziplinen. Die Sicht auf die Produktentwicklung bezüglich SE und MBSE kann je nach Disziplinzugehörigkeit unterschiedlich sein. Dies kann sich sowohl auf den Entwicklungsprozess, zum Beispiel Agile oder Wasserfall, als auch in der Arbeitsweise äussern. Durch die gezielte Befragung von Personen aus unterschiedlichen Disziplinen kann unterschiedliches Wissen generiert werden.
- **Firma:** Kultur, Zusammenarbeit und Entwicklungsprozesse sind firmenspezifisch und in jedem Unternehmen unterschiedlich. Das bedeutet, dass die Sicht auf die Einführung und die Umsetzung von MBSE von Unternehmen zu Unternehmen variieren kann. Diesem Umstand kann Rechnung getragen werden, wenn Personen aus unterschiedlichen Firmen befragt werden.

Auswahl der Stichproben

Experte 1: Die Person im ersten Interview ist ein Experte in der Produktentwicklung mit ca. 20 Jahren Berufserfahrung. Sie weist Erfahrungen in der Elektronik- und zum Teil in der Software- und Algorithmus-Entwicklung auf. Seit mehreren Jahren hat diese Person die technische Gesamtverantwortung bei der Entwicklung eines spezifischen Produktes in der Firma A. Erfahrungen mit Systems Engineering bestehen seit ca. 5 Jahren. Das Interview hat am 15.03.19 in der Firma A stattgefunden und dauerte ca. 60 Minuten.

Experte 2: Die befragte Person verfügt über Erfahrungen in der Softwareentwicklung, in der technischen Projektleitung und in der Gesamtleitung von Projekten. Sie arbeitet seit ca. 10 Jahren in der Firma A und hat dort mehrere Jahre als Projektmanager und Teamleiter im Projektmanagement gearbeitet und leitet heute die Softwareabteilung. Experte 2 ist seit 4 Jahren in Kontakt mit Systems Engineering und hat bei einem Proof-of-Concept Projekt mitgearbeitet. Das Interview hat am 27.03.19 in der Firma A stattgefunden und dauerte ca. 45 Minuten.

Experte 3: Die Person, die beim dritten Interview befragt wurde, hat mehrjährige Erfahrungen in der Mechanik-Entwicklung. Über die technische Projektleitung ist Experte 3 in die aktuelle Position als Projektleiter gekommen, welche er seit ca. 4 Jahre besetzt. Gesamtheitlich besitzt diese Person eine 13-jährige Erfahrung in der Produktentwicklung und setzt sich seit ca. 4 Jahren mit Systems Engineering auseinander. Das Interview hat am 27.03.19 in der Firma A stattgefunden und dauerte ca. 60 Minuten.

Experte 4: Die interviewte Person arbeitet heute als Prozess Manager und Leiter der Mechanik-Entwicklung. Während der 12 Jahre in der Produktentwicklung hat diese Person unter anderem ein Entwicklungszentrum im asiatischen Raum mit aufgebaut. Mit dem Ziel, die Innovation effektiver und effizienter zu machen, trat Experte 4 seine aktuelle Position als Prozess Manager vor zwei Jahren in der Firma B an. Sie beschäftigt sich seit ca. 1.5 Jahren explizit mit Systems Engineering, hat aber davor breite Erfahrungen im Bereich Requirements Engineering, Risk

Management und Verifikation und Validierung gesammelt. Das Interview hat am 02.04.19 in der Firma B stattgefunden und dauerte ca. 40 Minuten.

Experte 5: Die Person arbeitet seit 15 Jahren in der Produktentwicklung, wobei der Fokus stets in der Elektronik zu finden war. Das Spektrum der entwickelten Produkte ist breit und reicht von Biotechnologie, Steuerung und Regelung für Prozessautomation über Industrierobotik bis zu industriellen Drucksystemen. Neben der Entwicklung von Elektronik kümmert sich Experte 5 heute auch um die Gesamtarchitektur der Produkte der Firma B und beschäftigt sich seit ca. 5 Jahren mit Systems Engineering. Das Interview hat am 02.04.19 in der Firma B stattgefunden und dauerte ca. 30 Minuten.

Experte 6: Die Person ist in der aktuellen Position als Principal Engineer eingestuft, was die zweithöchste Stufe in der technischen Hierarchie darstellt. Sie hat Erfahrungen in der technischen Produktbetreuung, im Integrationsprozess, der technische Dokumentation, der Projektleitung, dem Requirements Engineering, der Konzeptentwicklung und der Architekturerstellung, welche sich über einen Zeitraum von 20 Jahren erstreckt. Heute beschäftigt sie sich hauptsächlich mit dem Gesamtsystem der Firma C und weist eine 10-jährige Erfahrung in Systems Engineering auf. Das Interview hat am 04.04.19 über Skype stattgefunden und dauerte ca. 45 Minuten.

Die Samplestruktur basierend auf der Auswahl der Stichproben und der definierten Kriterien kann folgendermassen zusammengefasst werden:

Nr.	Name	Erfahrung in der Produktentwicklung	Erfahrung in SE	Position	Disziplin	Firma
E1	Experte 1	> 20 Jahre	> 5 Jahre	Chief Engineer Electronics	Elektronik	Firma A
E2	Experte 2	> 13 Jahre	>4 Jahre	Abteilungsleiter Software	Software, Projektleitung	Firma A
E3	Experte 3	> 13 Jahre	> 4 Jahre	Projektleiter	Mechanik, Projektleitung	Firma A
E4	Experte 4	> 12 Jahre	> 1.5 Jahre	Process Development Manager	Mechanik	Firma B
E5	Experte 5	> 15 Jahre	> 5 Jahre	Entwickler	Elektronik	Firma B
E6	Experte 6	> 20 Jahre	> 10 Jahre	Principal Engineer	System Architekt, Elektronik	Firma C

Tabelle 7-1: Samplestruktur der geführten qualitativen Interviews

Mit der gewählten Stichprobe konnte eine Verteilung über drei Firmen erreicht werden, welche alle aktuell Systems Engineering einführen. Die Erfahrungen im Bereich Systems Engineering variieren von einigen wenigen Jahren bis zu einem Jahrzehnt, wobei die Erfahrung in der Produktentwicklung bei allen befragten Experten mehr als 10 Jahre beträgt. Weiter deckt die Stichprobe die Disziplinen Elektronik, Mechanik und Software ab und es sind Vertreter aus dem Projektmanagement und der direkten Linienführung dabei.

7.5.4 Beschreibung der Auswertemethode

Transkription

Unter Transkription versteht man die Verschriftlichung der Audioaufnahmen der Experteninterviews für die nachfolgende Auswertung. Die Transkription erfolgt gemäss einigen wenigen Regeln in Anlehnung an Kuckartz (2018) und bezogen auf die Forschungsziele, welche Spielraum gegenüber sprachwissenschaftlichen und psychologischen Transkriptionsregeln zulassen. Bortz und Döring (2015, S. 583) weisen darauf hin, dass eine Teiltranskription mit entsprechender Begründung erlaubt ist. Der Fokus der Interviews liegt beim Inhalt der Aussagen und nicht auf der Sprache. Dies führt zu folgenden Regeln, welche bei der Transkription berücksichtigt werden:

- Es wird dort, wo nötig, wörtlich transkribiert und vorhandene Dialekte werden ins Hochdeutsche übersetzt.
- Füllwörter wie äh, öh und ähnliches, werden weggelassen.
- Pause, Unterbrechungen, Tonhöhenänderungen werden nicht mit aufgenommen.
- Wenn der Sinn des Gesagten und das Verständnis nicht verloren gehen, werden Wort- und Satz wiederholungen weggelassen.
- Nicht relevante Interview- oder Diskussionspassagen werden summarisch in eigenen Worten zusammengefasst.
- Erklärende Anmerkungen werden, wenn nötig, eingefügt.

Es ist möglich, dass in den Interviews sensible Informationen erwähnt werden. Diese Aussagen, können Rückschluss auf die Personen oder die Firmen geben, was vermieden werden sollte. Daher werden sensible Informationen über Namen, Firmen, Produkte und ähnliches durch Pseudonyme oder Kürzel ersetzt (Kuckartz, 2018).

Auswertemethode

In den letzten Jahren haben sich unterschiedliche Methoden für die Auswertung qualitativer Interviews entwickelt. Bogner et al. (2014, S. 71) nennen hier Code-basierte Verfahren aus der Grounded Theorie, sequentielle Verfahren wie hermeneutischen Wissenssoziologie oder objektiven Hermeneutik und natürlich Kombinationen der unterschiedlichen Verfahren.

Um die Auswertemethoden praktikabel zu machen sind oft Anpassungen notwendig, da die Methoden oder methodischen Anleitungen einem spezifischen Kontext entstammen und somit allenfalls Leitlinien bieten. Für die Auswertung der Experteninterviews lassen sich in Abhängigkeit

der jeweiligen Funktion des Interviews im Forschungsdesign klare Präferenzen begründen (Bogner et al., 2014).

Mayring (2015) weist darauf hin, dass die Inhaltsanalyse kein Standardinstrument ist und die einzelnen Analyseschritte definiert und in einer Reihenfolge festgelegt werden sollen. Im Weiteren soll ein besonderes Augenmerk auf die Konstruktion der Kategorien gelegt werden.

Mayring (2015) schlägt zur Auswertung von Experteninterviews ein Verfahren der Zusammenfassung und induktiver Kategorienbildung vor. Diese Methode versucht das gesamte Material aus den Interviews zu berücksichtigen und systematisch auf das Wesentliche zu reduzieren. Das Ablaufmodell, wie eine Zusammenfassung durchgeführt wird, ist in Abbildung 7-4 dargestellt.

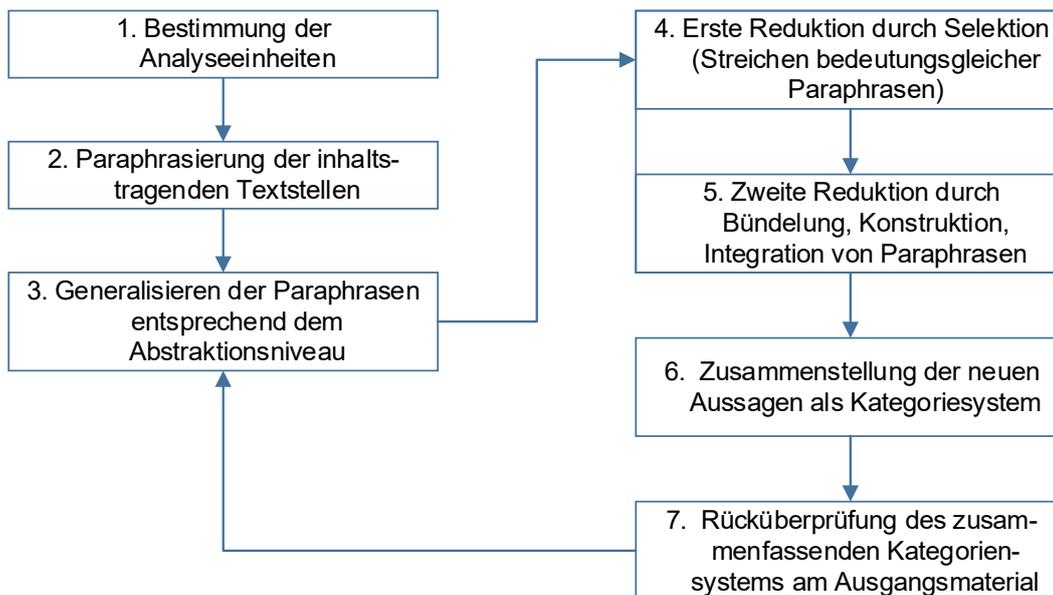


Abbildung 7-4: Ablaufmodell der zusammenfassenden Inhaltsanalyse (in Anlehnung an Mayring, 2015)

In Anlehnung an Abbildung 7-4 wird für diese Arbeit der im Folgenden beschriebene Ablauf verwendet. Schritt 1 entsprechend werden die einzelnen Experteninterviews als Analyseeinheiten verwendet. Die Schritte 2 bis 5 werden zusammengefasst, indem eine direkte Kategorienbildung am Material vorgenommen wird und die Aussagen aus den Interviews unterschiedlichen Kategorien zugewiesen werden (Kuckartz, 2018, S. 88). Die zweistufige Reduktion wird aufgrund des vergleichsweise geringen Umfangs des transkribierten Interviewmaterials weggelassen.

Die Kategorienbildung kann deduktiv, basierend auf Voruntersuchungen, oder induktiv, basierend auf dem Interviewmaterial, erstellt werden (Mayring, 2015, S. 85). Für die Auswertung dieser empirischen Untersuchung wird ein induktives Vorgehen angestrebt, wobei die Kategorien aus dem Interviewleitfaden berücksichtigt werden und einen Bezug zu den Forschungsfragen haben sollen. Im Weiteren sollen die Kategorien als Basis für das zu entwickelnde Nutzenmodell von modellbasierten Systems Engineering genutzt werden.

Die Transkription und die Auswertung werden mit der QDA-Software MAXQDA durchgeführt. Die Paraphrasen und die Reduktionsschritte werden, wenn nötig, mittels der Paraphrasen- und Memofunktion festgehalten. Kategorien werden mit der Codierfunktion gebildet und der Text wird

direkt neuen Kategorien zugeordnet. Wichtige Informationen, wie die Kategoriendefinition und das festgelegte Abstraktionsniveau, können ebenfalls mit der Memofunktion festgehalten werden. (Kuckartz, 2018; Mayring, 2015).

Die in dieser Arbeit zur Anwendungen kommenden Guidelines zur Kategorienbildung, basieren auf den Darstellungen oben und den Ausführungen von Kuckartz (2018, 83-86):

- Ziel der Kategorienbildung entsprechend der Forschungsfrage festlegen.
- Kategorienart und Abstraktionsniveau bestimmen.
- Mit den Daten vertraut machen und die Art der Codiereinheit definieren.
- Texte sequentiell bearbeiten und die Kategorien direkt am Text bilden, wobei Kategorien aus dem Interviewleitfaden und dem theoretischen Nutzenmodell berücksichtigt werden.
- Systematisieren und Organisieren des Kategoriensystems.
- Das Kategoriensystem festlegen.

8 DARSTELLUNG DER UNTERSUCHUNGSERGEBNISSE

In diesem Kapitel werden die Untersuchungsergebnisse aus dem World Café und den Experteninterviews dargestellt. Der erste Abschnitt beschäftigt sich mit den Aussagen aus den zusammenfassenden Präsentationen des World Cafés und der zweite Abschnitt analysiert die Aussagen aus den Experteninterviews mit Bezug zu einem Kategorienschema.

8.1 Auswertung des World Cafés

Die Resultate des World Cafés werden entsprechend den drei gestellten Fragen dargestellt. Dazu werden die Aussagen der Gruppen, welche Kategorien zugeordnet sind, zusammengefasst und die Kernpunkte ausführlich erläutert. Die Anzahl der Aussagen, welche einer Kategorie zugeordnet werden, sind für jede Frage in einem Balkendiagramm dargestellt. Diese Auswertung ergibt ein Bild über die Wichtigkeit der einzelnen Kategorien.

Die Liste aller Aussagen findet sich in Anhang D. Die Referenzen bezüglich der Aussagen aus dem World Café beziehen sich auf diese Zusammenstellung und referenziert jeweils die Gruppe, welche die Aussage gemacht hat und die laufende Nummerierung der Aussagen.

8.1.1 Erwarteter Nutzen von MBSE

Für den erwarteten Nutzen von MBSE können 6 Kategorien identifiziert werden. Die Anzahl der Nennungen bei der Schlusspräsentation der einzelnen Gruppen ist in Abbildung 8-1 dargestellt. Die Kategorie «Systemübersicht und Komplexität beherrschen» wurde mit Abstand am meisten genannt.

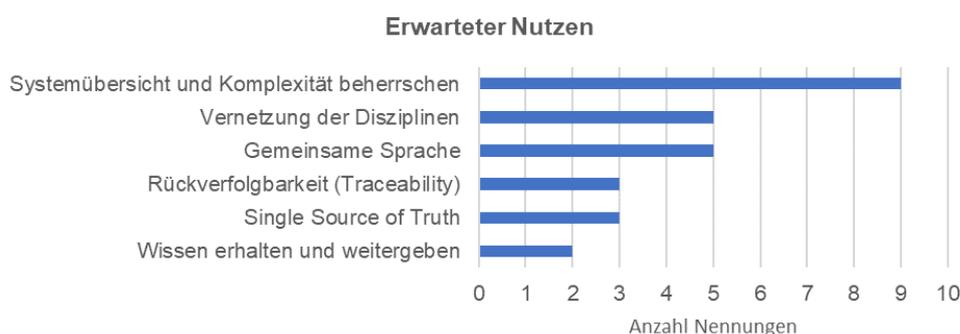


Abbildung 8-1: Verschieden Kategorien von erwartetem Nutzen (Eigendarstellung Bernd Walsler)

Systemübersicht und Komplexität beherrschen

Die Möglichkeit der Visualisierung und der Erstellung von unterschiedlichen Sichten durch die Verwendung des Systemmodells unterstützt die beteiligten Personen bei der Gewinnung der Systemübersicht. Dies wiederum führt dazu, dass die Komplexität des Gesamtsystems reduziert werden kann, da alle dasselbe Verständnis vom System haben. Die Modellierung bereits beim Start eines Projektes, ermöglicht die frühe Systemübersicht für das gesamte Team. Somit agiert

das Modell als Trichter für Requirements, Use Cases und technische Aspekte. Durch die Darstellung der Verbindungen dieser Artefakte, werden Abhängigkeiten sichtbar.

[...] Es sollten benutzerspezifische Sichten verwendet werden, dass sie das sehen was sie benötigen und diese Information einfach rausholen können. (G4.9)

Vernetzung der Disziplinen

Durch die Verwendung einer gemeinsamen Sprache, wird das interdisziplinäre Verständnis gefördert und Missinterpretationen werden reduziert. Personen aus unterschiedlichen Disziplinen können das Modell gemeinsam nutzen und Sachverhalte direkt am Modell besprechen. Die beteiligten Personen bekommen ein Verständnis dafür, was sich am Ende ergeben soll.

Bei einer Problemlösung kann man gemeinsam am gleichen Modell diskutieren [...] (G4.2)

Gemeinsame Sprache

Die Visualisierung des Modells kann mit einer Sprache gemacht werden, welche von allen Personen über die unterschiedlichen Disziplinen und Teams hinweg verstanden wird. Damit wird ein Verständnis für das Gesamtsystem von Beginn an gefördert.

Rückverfolgbarkeit (Traceability)

Durch die Rückverfolgbarkeit können die Zusammenhänge der Funktionen, die Auswahl der Technologien und der Bezug der technischen Lösung zur Anforderung begründet und nachvollzogen werden. Mittels der Darstellung dieser Zusammenhänge im Modell können umfangreiche Dokumente zur Systembeschreibung vermieden oder zumindest reduziert werden.

Modell soll es ermöglichen 100seitige Dokumentation und Konzepte zu verhindern. Zusammenhänge sind im Modell erklärt (G4.10)

Single Source of Truth

Die Informationen über das System sind an einem zentralen Ort abgelegt und jeder weiss, wo die Informationen, welche für die Entwicklung des Produktes benötigt werden, zu finden sind.

Wissen erhalten und weitergeben

Das Modell ermöglicht es, das Fachwissen und die Systemkenntnisse effizient an neue Projekte zu übergeben oder die Einarbeitung von neuen Mitarbeitern zu beschleunigen. Element oder Funktionsblöcke können so wiederverwendet werden.

Recycling des Modells, Elemente und ganze Funktionsblöcke (G4.11).

8.1.2 Hindernisse, damit MBSE Nutzen entfalten kann

Wie bei der vorherigen Frage, ergaben sich 6 Kategorien, welche Hindernisse beschreiben, die den Nutzen von MBSE verhindern können, siehe Abbildung 8-2. Die beiden Kategorien «Zu komplex und aufwändig» und «Unterschiedliche Erwartungen» wurden am meisten genannt,

wobei die Anzahl der Nennungen nicht so gross war, wie bei der meistgenannten Kategorie des Nutzens von MBSE.

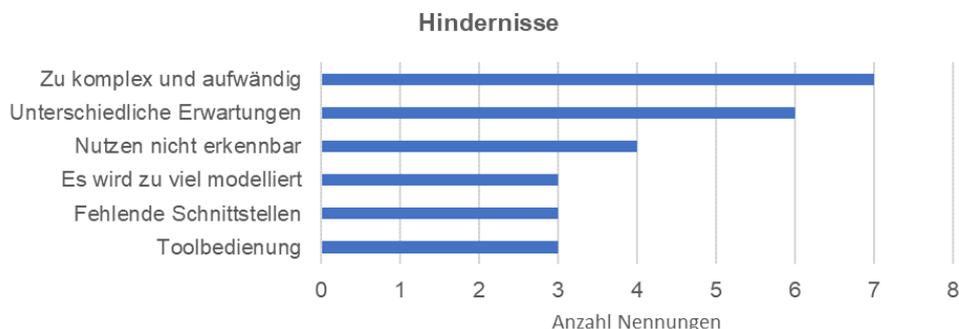


Abbildung 8-2: Kategorien möglicher Hindernisse bei der Einführung von MBSE (Eigendarstellung Bernd Walser)

Zu komplex und aufwändig

Es gibt Bedenken, dass die Modellierung zu komplex, aufwändig und umständlich ist. Dadurch entsteht die Gefahr, dass vor allem zu Beginn eines Projektes oder auch bei der Einführung von MBSE viel Zeit dafür investiert werden muss. Dies kann dazu führen, dass das Modell nicht mit dem Fortschritt des Projektes mithalten kann und möglicherweise doppelte Arbeit gemacht werden muss. Ebenfalls wird befürchtet, dass der Aufwand für die Instandhaltung des Modells gross sein wird. Dies korreliert mit einem weiteren Hindernis, dass ein Modell nicht mehr verwendet wird, sofern es nicht aktuell ist

Höherer Aufwand ist eine Gefahr. Besonders zu Beginn, zum Beispiel durch die Einarbeitung. Es muss mehr Zeit investiert werden (G2.7).

Unterschiedliche Erwartungen

Die Erwartungen der Stakeholder und der Personen, die Informationen aus dem Systemmodell beziehen, sind unterschiedlich. Es besteht das Risiko, dass diese unterschiedlichen Erwartungen nicht alle erfüllt werden können. Der erwartete Nutzen dieser Personen muss möglichst sichtbar werden, sonst kommen sie zum Schluss, dass modellbasiertes Systems Engineering für sie nichts bringt. Dies kann sich auf vielfältige Weise äussern. Wenn zum Beispiel Informationen aus benachbarten Disziplinen nicht im Modell zu finden sind oder angenommen wird, dass alle beteiligten diese Daten auch gelesen und verstanden haben, nur weil Information im Modell vorhanden ist.

Besonders beachtet werden sollen die Personen, die nur über einen Viewer Zugriff haben. Es besteht die Gefahr, dass diese sagen, dass das Modell nur etwas für "die da oben" ist. Der Benefit muss allen Mitarbeitenden klar sein (G2.15).

[...] Man nimmt an, dass wenn es im Tool ist, dass es alle mitbekommen (G3.12).

Nutzen nicht erkennbar

Wenn die direkt und indirekt beteiligten Leute den Nutzen des Systemmodells oder der Methodik nicht sehen, dann wird sich Widerstand ergeben und zum Beispiel ein höherer Aufwand

gegenüber der gewohnten Arbeitsweise nicht akzeptiert werden. Vor allem ist zu bedenken, dass die Nutzenkurve zu Beginn flach sein wird, da eine gewisse Einarbeitungszeit benötigt wird.

Kurve Zeit vs. Resultat zu Beginn relativ flach (wenig Resultate), bis man sich eingearbeitet hat und erst später zum Ziel führt und die Kurve ansteigt (G2.9).

Es wird zu viel modelliert

Die Modellierung kann schnell zum Selbstzweck werden. Es wird alles, was möglich ist, modelliert und man verliert sich in Details, die nicht relevant sind und gepflegt werden müssen. Dies sollte möglichst vermieden und ein gutes Mass für den Detaillierungsgrad gefunden werden.

Nicht zu viel modellieren, das heisst nicht zu tief ins Detail gehen. Ins Detail gehen gibt Diskussionen, welche nicht nötig wären (G1.7).

Fehlende Schnittstellen

Fehlende Schnittstellen des Modellierungstools können Widerstände bei betroffenen Personen oder Abteilungen hervorrufen. Das heisst beispielsweise, Personen sollten einfach über einen Viewer Informationen aus dem Modell abrufen können. Wenn solche Schnittstellen nicht vorhanden oder kompliziert zu bedienen sind, dann werden diese Funktionen nicht verwendet werden. In dieselbe Kategorie gehören Schnittstellen zu anderen Werkzeugen wie zum Beispiel Requirements- oder Test-Managementwerkzeugen.

Toolbedienung

Wenn die Bedienung des Tools komplex ist, dann wird es ungerne benutzt. Dies kann dazu führen, dass die Leute sich an das Tool anpassen und nicht das Tool an die Bedürfnisse der Projektarbeit angepasst wird.

Wenn das Tool zu komplex ist, dann wird es nicht gerne benutzt. Es sollte möglichst einfach bedienbar sein und die Information einfach gefunden werden. Gilt auch für die Sprache (G3.8).

8.1.3 Messbarer Nutzen von MBSE

Ebenfalls beim messbaren Nutzen haben sich 6 Kategorien gebildet, siehe Abbildung 8-3. Es fällt auf, dass die Anzahl der Nennungen absolut gesehen geringer ist, als bei den beiden vorherigen Fragestellungen. Dies könnte darauf hinweisen, dass es schwerer gefallen ist, Aussagen über messbaren Nutzen zu machen.

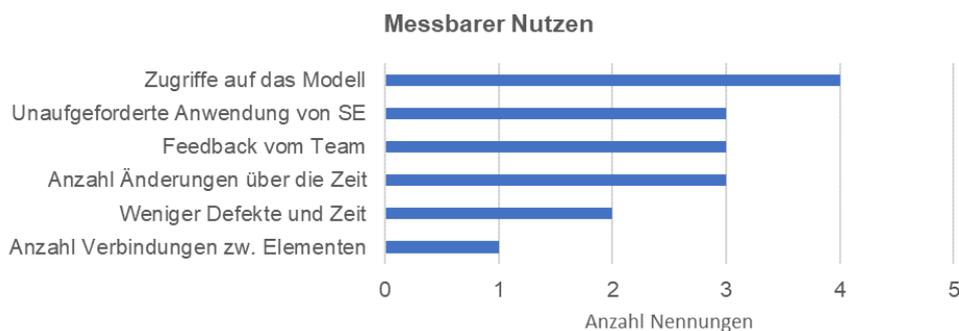


Abbildung 8-3: Kategorien zur Messung des Nutzens von MBSE (Eigendarstellung Bernd Walser)

Zugriffe auf das Modell

Eine Möglichkeit, den Nutzen oder in diesem Fall die Nutzung zu messen, wäre die Anzahl der Zugriffe auf das Modell zu zählen. Ausserdem könnte aufgezeichnet werden, wie viele unterschiedliche Nutzer das Tool verwenden oder aktiv auf das Modell zugreifen. Diese Messwerte können über die Zeit aufgenommen werden und zeigen, ob die Verwendung ansteigt oder abnimmt. Dies wäre dann ein indirekter Indikator über die erfolgreiche Nutzung des Modells.

[...] Wie viele Leute verwenden das Tool; wie oft wird das Tool aufgerufen; Wie viele verschiedene Nutzer sind aktiv. So kann bestimmt werden, ob die Verwendung ansteigt oder weniger wird. Dies ist ein indirektes Zeichen über den Erfolg (G3.14).

Unaufgeforderte Anwendung von SE

Wenn die Methoden von Systems Engineering und die Modellerstellung unaufgefordert angewandt und durchgeführt werden, dann ist dies ein Zeichen, dass SE akzeptiert wurde. Es kann so weit gehen, dass das Projektteam von sich aus verlangt, im nächsten Projekt ein Modellierungstool zu verwenden oder nach einem bestimmten Prozess vorzugehen.

SE ist erfolgreich, wenn das Tool, die Konzepte und der Prozess auch ausserhalb des Projekts gelebt werden. Wenn das Tool und die Konzepte (von SE) auch im Lifecycle übernommen werden und wenn Elemente von einem Projekt ins nächste übernommen werden und nicht alles neugestaltet werden muss (G2.10).

Feedback vom Team

Der Nutzen von MBSE kann über die Befindlichkeit der betroffenen Personen mittels eines periodischen Feedbacks sichtbar gemacht werden. Durch aktives Nachfragen, ob die Leute mit den Tools arbeiten, den Prozess anwenden oder wo die Methode ihnen hilft, kann die Akzeptanz erhöht und korrigierend eingegriffen werden. Aus diesen Befragungen sollte auch ersichtlich sein, dass sich die ursprünglichen Probleme verändern, was bedeutet, dass sich etwas verbessert hat. Wobei darauf zu achten ist, dass sich dadurch nichts anderes verschlechtert.

Periodisches Feedback des Teams während dem Projekt (3 Smileys). Das Abfragen der Befindlichkeit erhöht auch die Akzeptanz des Teams und es kann korrigierend eingegriffen werden (G1.5).

Anzahl Änderungen über die Zeit

Es kann die Anzahl der Änderungen im Modell oder die Anzahl gespeicherter Versionen gemessen werden. Falls im Verlauf des Projektes die Änderungen unproportional zurückgehen, dann wäre das ein Indikator, dass das Modell nicht mehr genutzt wird oder nicht mehr auf einem aktuellen Stand ist.

Messen der Anzahl Änderungen. Wenn keine Änderungen mehr gemacht werden, dann ist das Modell "Tod" (G1.4).

Weniger Defekte und Zeit

Wenn im Vergleich mit früheren Projekten die Anzahl der Defekte oder Probleme reduziert oder die Zeit bis zur Markteinführung verkürzt wird, dann wäre das ein Erfolgsfaktor. Es ist zu bedenken, dass dies eine subjektive Messung darstellt.

Weniger Defekte oder Probleme während dem Projekt. Die Zahl sollte bei Projektvergleichen zurück gehen. Ist nur subjektiv zu messen (G3.16).

Anzahl Verbindungen zwischen Elementen

Die Anzahl der Verbindungen zwischen den Elementen im Modell könnte als Metrik verwendet werden. Die Veränderung oder das zahlenmässige Verhältnis von Elementen zu Verbindungen kann genutzt werden, um eine Aussage über die Vollständigkeit des Modells zu bekommen.

Messung der Anzahl Verbindungen zwischen den Elementen könnte als Metrik verwendet werden (G4.5).

8.2 Auswertung der Experteninterviews

Für die Auswertung der Experteninterviews wurden Haupt- und Unterkategorien gebildet. Entsprechende Textstellen aus den transkribierten Interviews wurden diesen Kategorien zugewiesen (Kuckartz, 2018, S. 38). Anhang F listet alle Kategorien mit den entsprechenden Aussagen auf. Die Zitate in diesem Abschnitt beziehen sich auf diese Auflistung und die Referenzen werden entsprechend den verwendeten Nummerierungen, basierend auf der interviewten Person und dem Abschnitt, angegeben. Die Resultate werden sortiert nach den Hauptkategorien dargestellt.

Bei der Analyse der Experteninterviews wurden 7 Hauptkategorien gebildet und 321 Textstellen kodiert. Die Definition der Kategorien orientiert sich an den Bereichen, welche für das theoretische Nutzenmodell definiert wurden (siehe Kapitel 5) und den Aussagen der Experten. Abbildung 8-4 stellt die prozentuale Häufigkeit der Verwendung dieser Hauptkategorien dar. Bezogen auf das Thema dieser Arbeit wurde die Kategorie «Nutzen von MBSE» erwartungsgemäss am häufigsten kodiert und ausgewertet. Die Kategorie «Voraussetzungen und Begleitmassnahmen» steht an zweiter Stelle und lässt, basierend auf den Häufigkeiten, den Schluss zu, dass dieser Aspekt eine grosse Rolle in Bezug auf den Nutzen spielt.

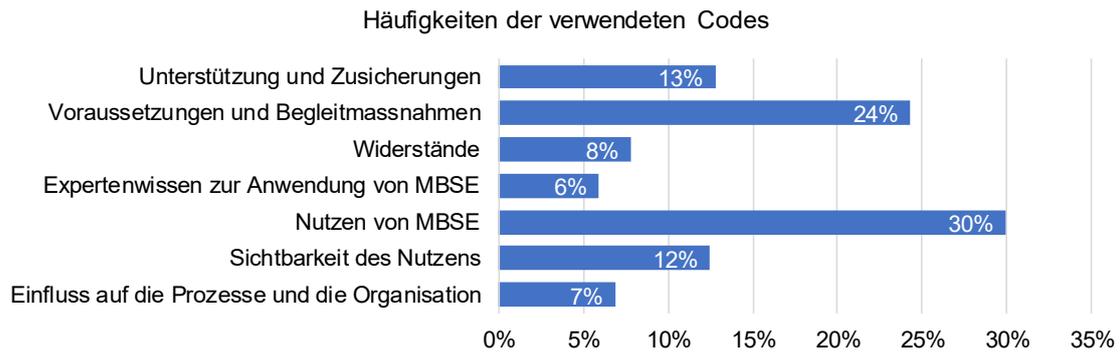


Abbildung 8-4: Prozentuale Häufigkeit der verwendeten Codes

In den folgenden Abschnitten werden die Aussagen der Experten, bezogen auf die unterschiedlichen Kategorien, analysiert.

8.2.1 Unterstützung und Zusicherungen

Damit mit der Einführung von MBSE in einem Unternehmen gestartet werden kann, müssen gewisse Voraussetzungen geschaffen und die Unterstützung durch das Management sichergestellt werden.

8.2.1.1 Bedarf ist vorhanden

Bevor man mit der Einführung von MBSE startet, sollte der Bedarf diesbezüglich klar ersichtlich sein. Es ist hilfreich, wenn im Unternehmen oder der Produktentwicklung ein Leidensdruck vorhanden ist, welcher durch SE-Ansätze gemildert werden könnte (E3.32, E3.112). Durch das Aufzeigen des Bedarfes, gekoppelt mit der Argumentation, weshalb MBSE die Lösung dazu ist, kann die Unterstützung des Managements gewonnen werden (E4.28, E4.86).

8.2.1.2 Bereitschaft zur Einführung von MBSE

Ein zweiter wichtiger Punkt vor der Einführung von MBSE ist die Bereitschaft, dies auch konsequent zu verfolgen. Diese Bereitschaft muss auf Managementebene vorhanden sein (E4.44, E2.74) und es ist hilfreich, wenn auch auf der Ebene der Mitarbeiter diese Offenheit vorhanden ist (E3.46). Falls dies nicht der Fall ist, dann kann es passieren, dass die Einführung als U-Boot Projekt gemacht wird (E6.28). Die Zustimmung zur Einführung bezieht sich auf unterschiedliche Bereiche im Unternehmen.

Bereitschaft zur Leistung von Mehraufwänden

Die Einführung von MBSE ist ein längerer Prozess und daher muss das Management bereit sein, diesen langen Weg zu gehen, auch wenn die Effizienz und die Effektivität nicht sofort gesteigert werden kann (E3.32, E4.30, E6.24). Es ist damit zu rechnen, dass bei der ersten Anwendung von MBSE die Projektkosten initial höher sein werden durch die Aufwände von SE (E1.20, E3.52) und dass es länger dauert. Das bedeutet, dass das Unternehmen Ressourcen in Form von finanziellen Mitteln und Zeit von Personen garantieren muss und dies gekoppelt mit der Zusage,

dass MBSE auch in einem Projekt gemacht werden darf (E2.16, E4.26). In die Mehraufwände müssen auch die Schulungen der Mitarbeiter und Kosten für externe Coaches miteinbezogen werden (E2.74, E5.20)

Diese Bereitschaft bedingt, dass dem Management die Vorteile klar aufgezeigt werden können, damit klar dargestellt wird, dass sich die Investitionen auch auszahlen (E6.22).

Bereitschaft zu Organisationsänderungen

Es sind sich alle Experten einig, dass Anpassungen im Bereich der Organisation notwendig sind oder sehr bald notwendig werden.

Bereits zu Beginn der Einführung kann es Sinn machen, gewisse organisatorische Änderungen vorzunehmen. Diese Anpassungen können in einem ersten Schritt noch temporär und auf ein Projekt beschränkt sein und bei Bedarf, im Verlauf der Umsetzung von MBSE, fest eingeführt werden (E2.24, E6.32).

Die Definition von Rollen, wie zum Beispiel System Architekt (E2.26, E3.38, E4.32, E.6.34), hilft beim Verständnis von Zuständigkeiten und der Zuweisung von Arbeitspaketen (E1.30). Zudem kann mit der Einführung von SE spezifischen Rollen die Abgrenzung zu anderen Rollen, wie zum Beispiel Projektleiter oder Produkt Manager, klar dargestellt werden (E3.52). Es kann so weit gehen, dass ein eigenes Team für SE gebildet wird (E.5.32).

Änderungen werden am besten mit einem Changeprozess unterstützt und dazu kann es nötig sein, dass gewisse Dinge in der Organisation definiert und festgelegt werden müssen (E4.26).

Bereitschaft zu Prozessänderungen

Mit der Einführung von MBSE werden die bestehenden Prozesse beeinflusst. Diese müssen gegebenenfalls angepasst und verändert werden (E1.20, E6.24). Damit dies vorangetrieben werden kann, muss der Wille und die Unterstützung vom Management vorhanden sein (E3.34, E5.20).

8.2.2 Voraussetzungen und Begleitmassnahmen

Vor der Einführung von modellbasiertem Systems Engineering müssen Voraussetzungen geschaffen werden, um eine erfolgreiche Umsetzung zu unterstützen. Dies allein genügt jedoch nicht, um einen langfristigen Erfolg zu garantieren. Daher müssen diese Aktivitäten fortlaufend aufrechterhalten und als Begleitmassnahmen während der Einführung angesehen werden.

8.2.2.1 Modellierungswerkzeug und Infrastruktur

Ein von allen Experten genannter Punkt ist die Verfügbarkeit eines Modellierungswerkzeuges und die damit verbundene Infrastruktur. Die Wichtigkeit des Werkzeugs und der Infrastruktur nimmt zu, je grösser das Projekt ist und je mehr Personen betroffen sind (E.2.58, E3.68).

Ein wichtiger Aspekt im Zusammenhang mit dem Modell und dem Werkzeug ist, dass alle beteiligten Leute zumindest Lesezugriff haben, um auf die Informationen zugreifen zu können

(E1.62, E3.66, E5.59). Es müssen immer genügend Lizenzen vorhanden sein, die Verfügbarkeit muss sichergestellt sein und die Daten müssen gesichert und versioniert werden (E3.70, E4.68).

Der Werkzeughersteller muss geeignete Schulungen anbieten, damit die Personen, die modellieren, entsprechend ausgebildet werden können (E1.60). Es kann auch sinnvoll sein, einen Coach oder Experten beizuziehen, welcher in einer ersten Phase die Modellierung übernimmt (E5.58).

Die Schnittstellen des Modellierungswerkzeugs mit anderen existierenden Werkzeugen müssen analysiert werden und es muss festgelegt werden, wie Daten abgelegt werden (E2.38, E3.44, E6.52). Die Schnittstellen zwischen den Werkzeugen haben noch keinen ausgereiften Stand erreicht und stellen somit eine Herausforderung dar (E3.86).

8.2.2.2 Ausbildung und Schulung

Systems Engineering ist ein breites Feld und umfasst Bereiche wie Methodik, Modellierungssprache, Modellierungswerkzeug, aber auch Moderation und Führen von Leuten. Von den Experten werden Schulungen bezüglich Modellierungssprache (E1.56, E1.78, E2.42, E.3.64), Modellierungswerkzeug (E1.60, E.3.64), SE-Methodik (E2.42, E.3.64, E4.46) und in Sozial- und Moderationskompetenzen (E1.78, E.3.64) vorgeschlagen.

Die Schulungen können je nach Bedarf, Anzahl der Teilnehmer und der vorhandenen Kompetenz durch interne oder externe Experten abgehalten werden. Um diese Anforderungen genau festzulegen, ist es notwendig, ein Ausbildungs- und Schulungskonzept zu entwickeln (E1.80). Eine Ergänzung zu den bekannten Ausbildungen ist der Besuch von Konferenzen, um einen Einblick in die SE Community zu bekommen (E6.56).

Idealerweise werden zwei Arten von Trainings angeboten. Zum einen vertiefte Schulungen für die Personen, die die Einführung aktiv vorwärtstreiben und eine Basisschulung für all diejenigen, die die Modelle lesen können und die Methoden verstehen müssen (E2.42). Die Schulungen sollten eine Mischung aus theoretischen und praktischen Anteilen beinhalten, um die Hürde zur konkreten Anwendung zu reduzieren (E2.50). Es ist zu überlegen, ob für das Management spezifische Schulungen im Bereich Organisation und Rollen bezogen auf SE angeboten werden (E.5.68).

8.2.2.3 Begleitung durch Experten

Der Einführungsprozess sollte durch Experten in unterschiedlichen Bereichen, wie in Abschnitt 8.2.2.2 aufgelistet, begleitet werden (E1.26, E3.74, E4.50). Das Wissen kann über externe Spezialisten in das Unternehmen geholt werden, vor allem dann, wenn die Expertise intern nicht vorhanden ist. Es ist aber gut möglich, dass mit der Zeit das Expertenwissen im Unternehmen aufgebaut wird und dann die Unterstützung von aussen reduziert werden kann (E1.70, E2.44, E.2.56, E3.54, E5.69).

Neben der Zusammenarbeit mit Beratern und Werkzeugh Herstellern kann es auch sinnvoll sein, sich mit Unternehmen auszutauschen, welche in einer ähnlichen Situation sind. Dies ändert den Blickwinkel und man kann aus den Erfahrungen anderer lernen (E3.76).

Ein Vorteil von externen Beratern ist, dass sie bei internen Diskussionen, vor allem mit dem Management, einen gewichtigeren Einfluss haben und Sachverhalte ansprechen können, die Angestellte nicht ansprechen (E1.70, E6.58).

8.2.2.4 Information über die Einführung an die Betroffenen

Periodische Informationen bezüglich der Einführung von MBSE an alle Betroffenen und Stakeholder sind eine wichtige Voraussetzung. Damit wird erreicht, dass Transparenz über die Ziele und die möglichen Veränderungen herrscht (E1.56, E2.40, E4.36). Durch die Vorstellung des Vorhabens können sich die Betroffenen ein besseres Bild von dem machen, was auf sie zukommt, und es werden Widerstände abgebaut (E1.116, E5.46).

Die Information soll über das reine Vorgehen hinausgehen und auch das Big-Picture, die Vision, zeigen und erklären, was genau geplant ist und umgesetzt wird (E1.66, E2.40). Wichtig zu beachten ist, dass der Informationsfluss über die gesamte Zeit der Einführung aufrechterhalten wird (E4.46).

8.2.2.5 Stakeholder Management

Durch die Einführung von MBSE können viele unterschiedliche Personen direkt oder indirekt betroffen sein. Neben dem Entwicklungsteam gibt es Personen aus den Bereichen Auftraggeber, Produktmanagement, Produktion oder Service und externe Partner, welche durch diese neuen Ansätze tangiert werden (E1.48, E2.34, E3.44).

Die Berührungspunkte können unterschiedlicher Natur sein, das reicht von der Definition von Use Cases und Anforderungen bis zu technischen Schnittstellen (E3.48, E5.48). Durch das aktive Beachten und Handhaben dieser Berührungspunkte kann eine breitere Akzeptanz erreicht werden (E6.40).

8.2.2.6 Einführungsteam – Offenheit gegenüber neuen Ansätzen

Für die Zusammenstellung eines Teams zur Einführung von MBSE sollte darauf geachtet werden, dass motivierte und offene Personen gefunden werden. Sie müssen die Bereitschaft mitbringen, etwas Neues auszuprobieren und sich selber weiterzubilden (E2.74, E3.54, 6.56). Dabei darf nicht vergessen werden, dass diese Leute etwas Erfahrung im Bereich Systems Engineering haben sollten (E3.60).

8.2.3 Widerstände

Widerstände gegenüber der Einführung und Anwendung von MBSE können sich auf vielfältige Weise ergeben und sind nicht immer offensichtlich erkennbar. Generell besteht eine gewisse Abwehrhaltung, wenn Veränderungen anstehen (E2.20) und die Widerstände bewegen sich auf der menschlichen und der Zusammenarbeitsebene (E2.38).

Es können sich auch Widerstände auf der rationalen Ebene entwickeln, wenn zum Beispiel die Aufwände für die Erledigung einer Arbeit zunehmen (E1.24) oder wenn neue Fertigkeiten, wie die

Bedienung eines Werkzeuges, erlernt werden müssen (E2.38, E5.27). Auch Veränderungen der Organisation kann zu Widerständen führen (E3.104, E5.52).

Widerstände können reduziert werden, indem der Nutzen anhand von Beispielen aus der Vergangenheit aufgezeigt wird (E2.44) oder durch Schulungen und Information, um Unsicherheiten zu minimieren (E2.48, E6.48).

8.2.3.1 Widerstände durch befürchteten Verlust von Status

Die Angst vor dem Verlust von Macht und Status durch die Einführung neuer Methoden und Prozesse stellt ein grosses Hindernis dar. Dieser Verlust kann sich auf die Offenlegung von Spezialistenwissen und Expertenstatus (E1.38, E.4.40), auf die Verschiebung von Rollen und Disziplinen (E2.38, E3.52), aber auch auf das Entscheidungs- und Mitspracherecht in Projekten (E3.36, E6.44) beziehen.

8.2.3.2 Widerstände des Managements

Widerstände ausgehend vom Management sind im Bereich des finanziellen Investments (E1.24) und bei der Verschiebung von Entscheidungskompetenz in Richtung Systems Engineering Team zu erwarten (E3.36).

8.2.3.3 Widerstände durch bestehende Prozesse

Firmen haben oft Prozesse installiert, welche sich über einen längeren Zeitraum bewährt haben. Es wird daher empfohlen, in der Anfangsphase die Spielräume dieser Prozesse zu nutzen (E1.44) und sich mögliche Anpassungen gut zu überlegen (E3.44).

8.2.3.4 Widerstände durch Änderungen von gewohnten Arbeitsweisen

Die Teams in unterschiedlichen Disziplinen sind gewisse Prozesse gewohnt. Wenn nun diese Prozesse durch MBSE verändert werden, zum Beispiel der Umgang mit Anforderungen, bezogen auf Agile Software Prozesse oder Entscheidungsprozesse innerhalb eines Projektes, dann können sich Widerstände bilden (E2.38, E3.38).

8.2.4 Expertenwissen zur Anwendung von MBSE

Das Expertenwissen ist nicht von Beginn an in einem Unternehmen vorhanden. Das bedeutet, dass zum einen Wissen aufgebaut werden muss und zum anderen ein kontinuierlicher Lernprozess installiert werden sollte.

8.2.4.1 Experten aufbauen

Die treibenden Kräfte in der Produktentwicklung bezogen auf Systems Engineering, typischerweise die Systemarchitekten, sollten in den Kompetenzen Methode, Sprache und Werkzeug gut

geschult werden (E1.78, E2.48). Dies bezieht sich sowohl auf theoretisches Wissen, als auch auf das Wissen, wie es in der Praxis angewandt wird.

Beim Aufbau der internen Experten sollte in Betracht gezogen werden, dass sie zu einem späteren Zeitpunkt die Schulungen der eigenen Leute übernehmen sollten (E2.56, E4.51). Diesen Personen sollte explizit Zeit für den Aufbau von Wissen zugestanden werden (E4.46). Bei der Auswahl dieser Experten sollte darauf geachtet werden, dass sie Fähigkeiten im Bereich des systemischen und abstrakten Denkens, sowie Kompetenzen in guter Kommunikation vorweisen können (E.6.62).

Das neu erarbeitete Wissen und die damit verbundenen Methoden und Ansätze sollten für eine einfachere Verteilung dokumentiert werden (E5.64, E6.64).

8.2.4.2 Lernen aus der Anwendung

Während der Einführungsphase sollte ein spezieller Fokus auf das Lernen aus der Anwendung von MBSE gelegt werden. Es sollte permanent hinterfragt werden, welcher der durchgeführten Schritte hat einen Mehrwert geliefert hat und welcher nicht (E1.116, E4.30). So kann der SE Prozess kontinuierlich verbessert und damit auch besser etabliert werden. Dies kann durch periodische Feedback-Schleifen erreicht werden (E5.62).

8.2.5 Nutzen von SE und MBSE

Die Kategorien in diesem Abschnitt sind nach der Häufigkeit der Nennungen in den Interviews geordnet, wobei mit der Kategorie mit den meisten Textstellen begonnen wird.

8.2.5.1 Gesamtheitliche Systemsicht und -verständnis

Der am meisten genannte Nutzen von MBSE ist die Verfügbarkeit einer ganzheitlichen Systemsicht, welche das Verständnis für das System einfacher erfassbar macht und die Zusammenhänge besser erkennen lässt (E1.82, E2.30, E6.66). Durch die einfachere Erfassung der Systemzusammenhänge wird es ermöglicht, das Architekturwissen auf mehrere Personen zu verteilen (E2.70). Ausserdem unterstützt die ganzheitliche Betrachtung den Umgang mit Komplexität (E4.54, E4.87, E5.88).

Die Verknüpfung von Use Cases, Anforderungen, Architektur und Verifikation & Validierung lässt sich einfach erfassen (E2.60, E3.66, E5.16). Insbesondere durch die visuelle Darstellung wird die Aussagekraft gesteigert und der Austausch im Team kann vereinfacht werden (E2.64, E2.72, E3.78, E4.22, E5.88). Diese Systemsicht kann gemeinsam am Whiteboard oder Flip-Chart erarbeitet werden und bringt so bereits einen Nutzen und ein gemeinsames und einheitliches Verständnis (E3.78, E3.114, E5.88).

Der vereinfachte Zugang zu einem gesamtheitlichen Systemverständnis bringt grossen Nutzen im Lifecycle, wenn keine Experten mehr verfügbar sind, um die Zusammenhänge und Schnittstellen zu erfassen und verstehen, oder bei der Einarbeitung von neuen Teammitgliedern (E2.60, E4.84).

8.2.5.2 Wissen zentral und wiederverwendbar verwalten

Ein weiterer wesentlicher Nutzen von modellbasiertem Systems Engineering ist die zentrale Verfügbarkeit von Informationen (Verhalten, Architektur, Systemidee, Anforderungen und deren Zusammenhänge) über das System. Mittels der Einführung einer Single Source of Truth werden Informationen, die heute verteilt verfügbar sind, zentral erfasst und verwaltet (E1.82, E1.117, E3.66). Die Verwendung einer zentral verfügbaren Informationsquelle bedingt jedoch, dass sie immer aktuell gehalten wird.

Durch die zentrale Verfügbarkeit wird Wissen über ein Produkt bewahrt, so dass es zu einem späteren Zeitpunkt wiederverwendet werden kann (E1.84, E3.86). So können wichtige Informationen oder Designentscheide aus dem Vorgängerprodukt für die nächste Generation oder den Lifecycle genutzt und nicht mühsam zusammengesucht werden (E1.122, E.1.124, E2.60). Es können Artefakte, wie Architektur oder Requirements, aus dem Modell extrahiert und für das nächste Projekt wiederverwendet werden (E3.86). Dieses Vorgehen unterstützt die Erstellung von Plattformen, reduziert dadurch den Aufwand und verhindert die Entwicklung von Insellösungen (E4.54, E5.32).

8.2.5.3 Prozesse und methodisches Vorgehen

Die Verwendung von definierten Prozessen und das Anwenden von spezifischen Methoden unterstützen die systematische Analyse der Problemstellung und führen strukturiert zur Realisierung eines Produktes (E1.16, E1.113, E3.110). Diese Vorgehensweise unterscheidet klar zwischen Problem- und Lösungsraum und erhöht damit die Transparenz im Projekt (E1.36, E1.84, E4.20). Die Methodik hilft Verständnis zu schaffen und der Nutzen daraus ist, dass die beteiligten Personen einen einfacheren Zugang zum System bekommen (E.6.70).

Prozesse und methodisches Vorgehen aus dem Systems Engineering können nicht nur in der Produktentwicklung eingesetzt werden, sondern auch für die Erarbeitung und Definition von Business- oder Entwicklungsprozessen (E1.110).

Da es unterschiedliche Methoden im Systems Engineering gibt, ist es wichtig, sich auf eine zu einigen, diese an die Gegebenheiten des Unternehmens anzupassen und zu dokumentieren (E.2.62)

8.2.5.4 Interdisziplinäre Zusammenarbeit

Das Gesamtsystem wird durch die Zusammenarbeit der einzelnen Disziplinen entwickelt, welche vielfältige Abhängigkeiten haben. Systems Engineering hat die Aufgabe, diese Disziplinen zusammenzuhalten und wie ein Leim dazwischen zu wirken (E1.82, E6.90). Der Vorteil eines Gesamtmodells ist einerseits die Unabhängigkeit von den Disziplinen und andererseits kommen da alle Disziplinen zusammen (E1.82). Die gesamtheitliche Sicht auf das System bewirkt automatisch ein cross-funktionales Denken, was durch die Visualisierung noch verstärkt wird und führt so zu einem besseren Systemverständnis der einzelnen Disziplinen (E2.30, E2.72, E5.94, E6.92).

Die Verwendung einer gemeinsamen Sprache und Nomenklatur (siehe Abschnitt 8.2.5.5) unterstützt die interdisziplinäre Zusammenarbeit (E1.106, E2.28). Durch die Einbindung des gesamten Teams in die Erstellung des Systemmodells erhöht sich auch das Zugehörigkeitsgefühl und schlussendlich die Zufriedenheit der Mitarbeitenden (E3.100).

8.2.5.5 Kommunikation und gemeinsame Sprache

Die Kommunikation in interdisziplinären Teams ist immer wieder eine Herausforderung, da jede Disziplin ihre eigene Sprache und Begriffe verwendet und so Missverständnisse entstehen können. Durch die Verwendung einer gemeinsamen Sprache und einer definierten Visualisierung entsteht eine bessere Diskussionsgrundlage, Missverständnisse werden reduziert und das Verständnis wird über alle Disziplinen erhöht (E1.106, E2.28, E3.88, E4.56, E5.72, E6.76). Gerade bei komplexen Systemen und Vorhaben entsteht durch das gemeinsame Verständnis ein grosser Nutzen, da nicht «aneinander vorbeigeredet wird» und das Auftreten von Fehlern, spät im Entwicklungsprozess, verringert wird (E2.60).

Diese Sprache kann nicht nur im Modell, sondern auch bei der gemeinsamen Arbeit zum Beispiel am Whiteboard verwendet werden und so für Klarheit sorgen (E2.28). Dies bedingt jedoch, dass die Sprache von allen verstanden wird und die beteiligten Personen eine entsprechende Schulung hatten.

8.2.5.6 Transparenz

Eine transparente Darstellung der Systemzusammenhänge hilft dem gesamten Team, die benötigten Informationen schnell zu finden (E1.36). Diese Transparenz hilft den Beteiligten, Informationen über die Systemidee, die Kundenanforderungen, die Systemstruktur, das Systemverhalten und die Zusammenhänge der einzelnen Artefakte zu extrahieren (E1.82, E4.20).

Die transparente Darstellung der Abhängigkeiten von Architektur und Design mit Anforderungen und Tests, bilden eine wichtige Grundlage, um ein Produkt zu entwickeln, das auch den Marktanforderungen genügt (E4.34, E4.60). Diese Transparenz ermöglicht eine bessere Steuerung des Entwicklungsprozesses von Beginn an (E5.38, E6.66, E6.98).

8.2.5.7 Verbesserung der Produktqualität und -performance

Durch die Anwendung von SE Methoden und die transparente Verwendung eines Systemmodells entsteht die Möglichkeit, bewusste Entscheidungen zu fällen, welche das gesamte System betreffen. Der Einfluss einer Änderung auf die Produktqualität oder -performance kann besser abgeschätzt werden und unterstützt so den Entscheidungsprozess (E1.82, E3.78, E6.38).

Die Zusammenhänge von Kosten, Kundenanforderungen, Qualität und Design können mittels des Modells oder der visuellen Darstellung einfacher erfasst werden und zur Entscheidungsfindung beitragen (E3.100, E4.54). Das Modell stellt für die verschiedenen Stakeholder

unterschiedliche Sichten auf das System zur Verfügung. So können Qualitätschecks aus unterschiedlichen Blickwinkeln gemacht und Lücken aufgedeckt werden, was dazu beiträgt, bessere Produkte zu entwickeln (E4.56, E5.91, E6.66).

8.2.5.8 Nutzen durch die Verwendung eines Modells

Die Verwendung eines zentralen Modells ist die Grundvoraussetzung für unterschiedliche Arten von Nutzen, welche in diesem Kapitel angesprochen wurden. Die Projektmitglieder können schnell und transparent Informationen über das System finden (E1.36).

Aber das Modell bietet noch weiteren Nutzen. Es ermöglicht spezifische Auswertungen bezogen auf das Gesamtsystem zu machen. Es kann überprüft werden, ob alle Requirements durch ein Designelement erfüllt und durch einen Test verifiziert oder validiert werden. Technische Anforderungen können bis zur Marktanforderung zurückverfolgt werden und so das Verständnis, was erwartet wird und wie etwas realisiert wird, fördern (E3.84, E5.75).

Die Verwendung eines zentralen Modells hilft auch bei der Effizienzsteigerung, da Elemente für unterschiedliche Bereiche genutzt werden können. Ausserdem ermöglicht das Modell zusammen mit dem Modellierungswerkzeug die automatisierte Generierung von Dokumenten basierend auf einem Datenstamm (E4.22, E6.74).

8.2.5.9 System- und Einflussanalyse

Mittels des Modells und des Modellierungswerkzeuges können spezifische System- und Einflussanalysen durchgeführt werden. Es besteht die Möglichkeit, ausgehend von einem Designelement oder einem Requirement, die Fragen nach dem Einfluss auf andere Elemente zu beantworten (E2.60). Es ist möglich, Abhängigkeits- und Erfüllungsanalysen zu machen. Diese Analysen beantworten Fragen wie «Sind alle Requirements durch Tests abgedeckt?», «Gibt es Widersprüche in den Anforderungen?» oder «Welche Designelemente und Tests sind betroffen?», falls eine Anforderung geändert wird (E3.96, E4.58, E5.72).

8.2.5.10 Simulation zur frühen Verifikation

Die Simulation zur Verifikation des Designkonzeptes stellt einen grossen potenziellen Nutzen dar. Vor allem in einer frühen Phase sehen die Experten grosses Potenzial, da der Bau von Funktionsmustern reduziert werden kann (E2.78, E2.80, E5.72). Es geht soweit, dass man aus dem Modell die Implementation teilweise automatisieren könnte, wobei das Wünsche für die Zukunft sind (E4.90).

8.2.6 Sichtbarkeit des Nutzens

Wenn angenommen wird, dass der Nutzen von SE und MBSE vorhanden ist, so muss er zur Überzeugung und zur Rechtfertigung trotzdem sichtbar gemacht werden. Es stellt sich die Frage, wie das gemacht werden kann und ist der Nutzen möglicherweise quantitativ messbar.

8.2.6.1 Nutzen erkennen und sichtbar machen

Die Experten sind sich einig, dass die Sichtbarmachung des Nutzens von MBSE keine einfache Aufgabe darstellt. Trotzdem wurden verschiedene Ansätze erläutert, welche den Nutzen sichtbar machen sollen.

Eine Möglichkeit besteht darin, die Stakeholder, das Team oder die Mitarbeitenden im Projekt direkt nach dem Nutzen zu fragen. Es können Fragen wie «Wie fühlt ihr euch, dass wir das so gemacht haben?», «Haben wir nun länger gebraucht?», «Was ist der Unterschied zur alten Vorgehensweise?» oder «Findet ihr die Information im Modell schneller?» gestellt werden (E1.98, E3.90). Diese Fragen können auch in Form von periodischen Projektretrospektiven behandelt werden (E4.74).

Wenn sich aus den Diskussionen Diagramme oder Vorgehen ergeben, welche die Beteiligten als nützlich empfunden haben, dann sollten diese für alle sichtbar publiziert werden. Am besten die konkreten Beispiele im Projektraum aufhängen, so dass alle diese Einsichten bekommen und auch weiter diskutieren können (E2.66, E3.40, E4.68, E5.84, E6.26). Es muss an Beispielen gezeigt werden, dass der Ansatz funktioniert (E3.112). Dies kann auch mittels Präsentation gegenüber dem Team, dem Management oder anderen Stakeholdern gemacht werden (E4.74, E6.26).

Wenn die Leute direkt auf das Modell zugreifen, um Information abzuholen, dann ist das ein Indikator, dass es Nutzen generiert (E1.124). Durch den Vergleich mit bereits abgeschlossenen Projekten kann möglicherweise gezeigt werden, dass gewisse Fehler durch den Einsatz von MBSE verhindert worden wären (E3.96). Zusammenfassend kann gesagt werden, dass wenn der MBSE Prozess mit einer gewissen Selbstverständlichkeit gelebt wird, der Nutzen erkannt wurde (E5.94).

8.2.6.2 Nutzen kommunizieren

Die Kommunikation des Nutzens ist ein wesentlicher Erfolgsfaktor bei der Einführung von MBSE. Der Nutzen muss nicht nur auf Managementebene, sondern auch auf Entwicklungsteamebene klar dargestellt werden (E2.40, E4.86). Durch die Kommunikation des Nutzens können sich Widerstände auflösen (E3.104).

Es gibt auch andere Firmen, welche MBSE einführen oder eingeführt haben. Die Erfahrungen von diesen Firmen können für die Kommunikation genutzt werden, um zu zeigen, dass andere sich mit demselben Thema auseinandersetzen (E6.82).

8.2.6.3 Nutzen messbar machen

Die Messbarkeit des Nutzens von MBSE ist ein breit diskutiertes Thema und wurde schon in diversen Publikationen bearbeitet, siehe Kapitel 4.4. Die Experten aus den Interviews sind sich einig, dass der Nutzen von MBSE nicht wirklich messbar, sondern eher fühlbar ist (E1.86, E2.64, E3.40, E3.94, E4.61, E6.77).

Trotzdem wurden einige Ansätze genannt, welche den Nutzen in einer gewissen Weise messbar machen, nicht durch direkte Zahlen oder Messgrößen, aber durch relative Betrachtungen zum Beispiel. Bei der inkrementellen Produktentwicklung kann in einem zweiten Schritt das Datenmaterial und die Informationsbasis wiederverwendet werden und somit werden diese Aufwände eingespart (E1.88, E1.89, E3.92, E3.94).

Durch die Bereitstellung der Abhängigkeiten von Design, Anforderung und Test, ist es möglich, dass zum Beispiel Leerläufe beim Testen vermieden werden. Das kann jedoch nicht in klaren Zahlen ausgedrückt werden (E1.96). Durch die gemeinsame Sprache werden Missverständnisse reduziert, was sich positiv auf die Entwicklungszeit auswirkt, aber ebenfalls nicht direkt messbar ist (E2.64).

Wenn die Entwicklungszeit über mehrere Projekte nach der Einführung von MBSE betrachtet wird, dann könnte eine Verbesserung gemessen werden. Aber da es sehr viele Einflussgrößen auf die Projektlaufzeit gibt, ist es schwierig, das direkt auf MBSE zurückzuführen (E3.90, E3.92, E4.61, E5.79, E6.80).

8.2.7 Einfluss auf die Prozesse und die Organisation

Für die Einführungsphase muss festgelegt werden, mit welchen Prozessen gearbeitet und wie die Einführung organisiert wird. Mit dem Fortschritt der Einführung werden die Prozesse und die Organisation möglicherweise angepasst, bis sich SE im Unternehmen etabliert hat und in eine stabile Organisation übergeht.

8.2.7.1 Während der Einführungsphase

Die Einführung sollte langsam starten, am besten mit dedizierten Pilotprojekten, welche sich gut für den Einsatz von MBSE eignen (E1.42, E2.18, E3.56, E4.86, E5.24, E6.94). Dem Pilotprojekt vorangestellt könnte ein Proof-of-Concept Projekt durchgeführt werden, welches kein Produkt entwickelt, sondern zum Ziel hat, die MBSE Methodik auszuprobieren und an das Unternehmen anzupassen (E3.54).

Während der Pilotphase bietet es sich an, eine temporäre Organisation innerhalb des Projektes aufzubauen (E2.24). Die Prozesse und Methoden können während des Pilotprojekts angepasst und verfeinert und wenn nötig bereits in die bestehende Prozesslandschaft eingebunden werden (E4.86, E5.42).

Da mit der Einführung immer Veränderungen einhergehen, wird die Begleitung durch ein Change-management Projekt empfohlen (E4.44).

8.2.7.2 Sobald sich Nutzen eingestellt hat

Wenn MBSE in einem Unternehmen etabliert wird, dann werden sich Einflüsse auf die Organisation und die Prozesse ergeben. Es kann zur Definition von neuen Rollen kommen, welche bestehende Rollen ablösen oder verändern werden (E2.30, E2.32). Es kann dazu

kommen, dass Systems Engineering als eigene Disziplin oder als eigenes Architektenteam etabliert wird (E3.104, E4.82).

Es ist zu erwarten, dass sich ein Einfluss auf die Kultur bemerkbar macht. Durch die erhöhte Transparenz von Systemwissen und -verständnis, werden mehr Personen die Kompetenz bekommen, Systemarchitekturen zu erstellen (E2.70, E6.87).

8.3 Reflexion und Limitation der Forschungsergebnisse

Es hat sich gezeigt, dass das Thema Nutzen von MBSE eine komplexe und umfangreiche Fragestellung ist, die teilweise in der Literatur bereits diskutiert wurde. Zugleich hat sich gezeigt, dass im Umfeld von Industrieunternehmen dieses Thema noch nicht ausreichend behandelt wurde.

Die empirischen Untersuchungen mittels World Café und Experteninterviews haben Einsichten in die Einführung und den Nutzen von MBSE in Industrieunternehmen ermöglicht. Das World Café fokussiert auf den Nutzen und die Hindernisse, während in den Interviews das Thema Einführung und Nutzen gekoppelt betrachtet wurde. Die Ergebnisse aus dem World Café korrelieren weitgehend mit denen aus den Interviews oder ergänzen die Aussagen der Experten und Expertinnen.

Es besteht die Herausforderung, die empirische Forschung auf die wesentlichen Bestandteile und Einflussfaktoren einzugrenzen. Diese Einschränkungen bergen die Gefahr, dass wichtige Sachverhalte oder Einflussgrößen nicht berücksichtigt werden. Diesem Umstand wird Rechnung getragen und in diesem Abschnitt kritisch betrachtet.

Die Durchführung des World Cafés wurde nur mit Personen aus einem Unternehmen durchgeführt. Das kann zu einseitigen Aussagen und zu einer Verzerrung der Schlussfolgerungen führen, da nur die Belange dieser einen Firma einfließen. Durch den Vergleich der Aussagen mit den Resultaten der Experteninterviews, wird diese Einseitigkeit etwas entschärft. Dennoch wäre es für weitere Untersuchungen empfehlenswert, zumindest eine Gegenprobe mit Personen aus einem anderen Unternehmen durchzuführen. Eine weitere Limitierung stellt die kleine Stichprobe an Aussagen und Beteiligten dar und daher dürfen die Resultate nicht ohne weiteres verallgemeinert werden. Im Kontext dieser Untersuchung ergibt sich jedoch aus diesen Erkenntnissen eine gute Basis für den Vergleich mit den Resultaten der Experteninterviews.

Die Experteninterviews wurden mit 6 Personen aus drei Industrieunternehmen, welche aktuell Systems Engineering einführen, durchgeführt. Die Verteilung auf drei unterschiedliche Firmen wird als genügend angenommen, um eine ausreichende Variation sicherzustellen. Die Anzahl der befragten Experten/Expertinnen, bezogen auf die drei Unternehmen, wird ebenfalls als genügend betrachtet. Es könnte angeführt werden, dass diese Personen keine Erfahrung in der langjährigen und etablierten Anwendung von MBSE besitzen und somit keine genügenden Aussagen zum Nutzen machen können. Bezogen auf den allgemeinen Nutzen würde diese Annahme stimmen, da aber der Nutzen während der Einführung als Forschungsziel benannt wurde, kann diese Einschränkung akzeptiert werden. Es wäre sicher interessant, Experten und

Expertinnen aus dem Bereich Beratung oder aus den Bereichen Rüstung, Raum- und Luftfahrt zu befragen und deren Aussagen zum Nutzen mit den Resultaten in dieser Arbeit zu vergleichen.

Die vorliegenden Forschungsergebnisse fokussieren auf den Nutzen von MBSE und betrachten den Aufwand und die Kosten nur am Rande. Es könnte argumentiert werden, dass der Nutzen losgelöst davon nur ungenügend betrachtet und bewertet werden kann. Da jedoch die Messbarkeit des Nutzens bezogen auf finanzielle Aspekte in Frage gestellt ist, ist aus Sicht des Autors die Analyse mit Fokus auf den Nutzen eine wertvolle Grundlage für die Rechtfertigung der Einführung von MBSE.

Die Kodierung der Experteninterviews wurde im Rahmen der Masterarbeit nur vom Autor selbst durchgeführt. Kuckartz (2018, S. 105) weist darauf hin, dass die Kodierung von mehreren Personen gemacht werden sollte, damit die Kategorisierung an Präzision gewinnt. Dies ist bei einer Masterarbeit leider nicht möglich, könnte aber in nachfolgenden Untersuchungen noch nachgeholt werden.

Abschliessend kann gesagt werden, dass die Durchführung eines World Cafés gekoppelt mit 6 Experteninterviews, verteilt auf drei Firmen, genügend empirisches Datenmaterial geliefert hat, um die Forschungsfragen zu bearbeiten. Es bedarf sicherlich noch weiterer Forschung, um dieses Thema erschöpfend zu betrachten.

9 BILDUNG EINES NUTZENMODELLS FÜR MODELL-BASIERTES SYSTEMS ENGINEERING

Damit der Nutzen von modellbasiertem Systems Engineering zum Tragen kommen kann, müssen verschiedene Aspekte berücksichtigt werden. Basierend auf den theoretischen Grundlagen aus Kapitel 4 und den empirischen Untersuchungsergebnissen aus Kapitel 8 wurde das in Abbildung 9-1 dargestellte Nutzenmodell für modellbasiertes Systems Engineering erstellt. Das Modell bezieht sich entsprechend den Forschungsfragen dieser Arbeit auf die im Zentrum stehende Anwendung von MBSE während des Einführungsprozesses. Es ist möglich, dass sich diese Zusammenhänge ändern, wenn MBSE nach der Einführung in einem Unternehmen etabliert ist, da sich dann die Arbeitsweisen und das Vorgehen ebenfalls ändern können.

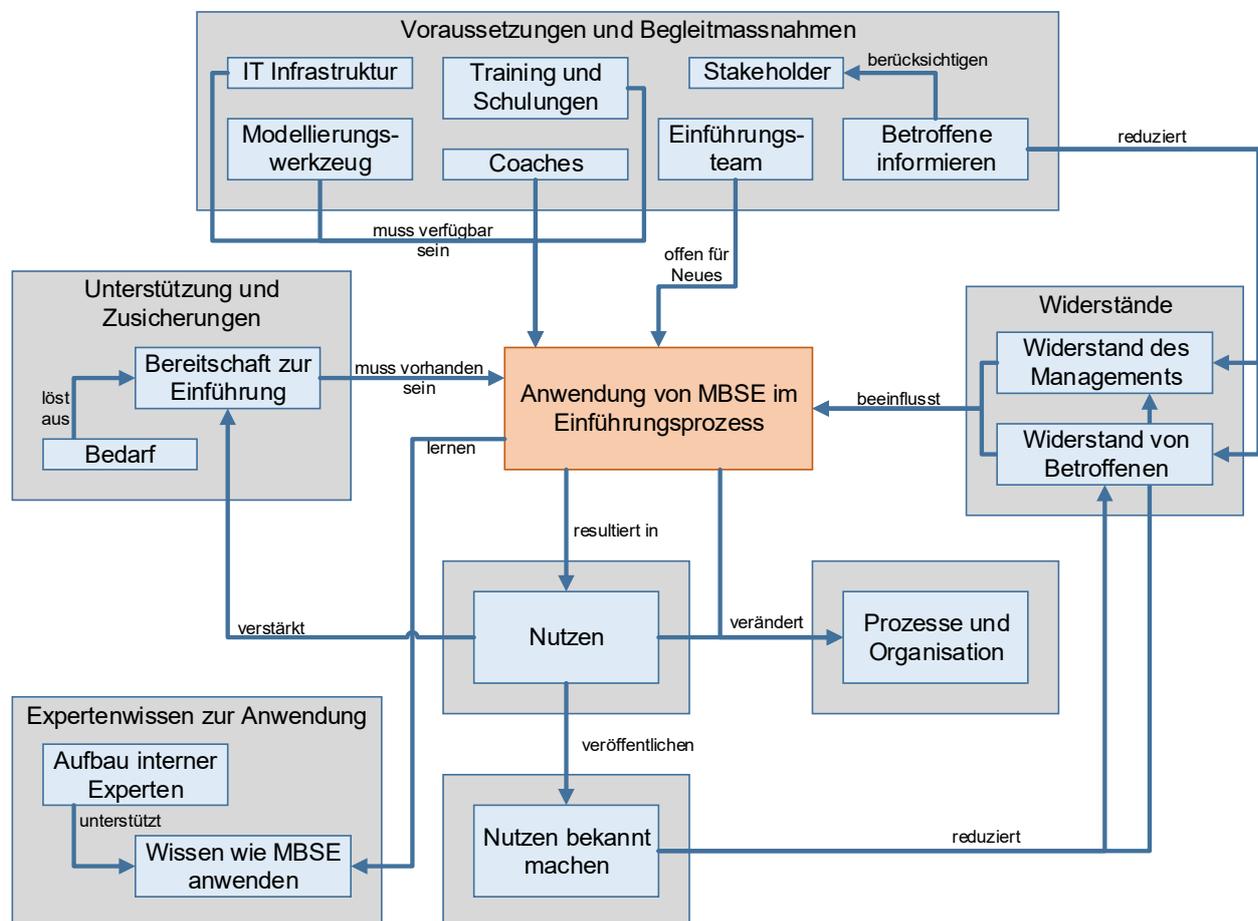


Abbildung 9-1: Nutzenmodell bezogen auf die Anwendung von MBSE im Einführungsprozess (Eigendarstellung Bernd Walser)

Das oben dargestellte Modell wurde im Vergleich zum theoretischen Modell aus Kapitel 5 erweitert und umgestellt. Die wesentlichen Änderungen sind in der folgenden Auflistung angegeben, wobei nicht auf alle Details eingegangen wird, da diese in den Ausführungen über die einzelnen Elemente enthalten sind.

- Die Kategorie «Unterstützung und Zusicherung» wurde inhaltlich präzisiert, indem die Phasen der Einführung als Teil der Anwendung von MBSE im Einführungsprozess betrachtet werden.
- Die Voraussetzungen wurden mit dem Einführungsteam und der Information an die Betroffenen erweitert und neu als «Voraussetzungen und Begleitmassnahmen» benannt.
- Das «Expertenwissen zur Anwendung» wird neu als eigene Kategorie dargestellt.
- Die Kategorie der externen Einflüsse wurde in zwei neue Kategorien aufgeteilt. Zum einen in die «Widerstände» gegenüber der Einführung von MBSE und zum anderen in «Organisation und Prozesse». Die Einflüsse aus «andere Disziplinen» und «Kultur» wurden in diese beiden Kategorien integriert.
- Aufgrund der Aussagen in den Experteninterviews wurde der Nutzen nicht weiter in quantifizierbar / nicht quantifizierbar und direkt / indirekt aufgeteilt.

Das Modell und die Elemente dienen zum einen als Basis zur Planung der Aktivitäten vor und während der Einführung und zum anderen zur Identifikation des unternehmensspezifischen Nutzens. Bei jedem Element muss entschieden werden, was umgesetzt wird und welcher Einfluss auf die Anwendung und den Nutzen erwartet wird. Ausgehend vom Modell können Anwendungsfälle abgeleitet werden, die während der Einführung umgesetzt werden. Beispielhaft können «Identifiziere den Bedarf» oder «Zeige den Nutzen» angeführt werden. Diese Anwendungsfälle müssen auf die Möglichkeiten und Bedürfnisse des Unternehmens ausgerichtet sein und entsprechend detailliert beschrieben werden, damit eine konkrete Umsetzung möglich ist. In Abschnitt 10.2 sind Empfehlungen für die Praxis aufgelistet, welche sich auf das Nutzenmodell beziehen und als Basis für die Definition von Anwendungsfällen bei der Einführung verwendet werden können.

Die einzelnen Elemente des Nutzenmodells und deren Abhängigkeiten werden in den folgenden Abschnitten diskutiert und Hypothesen basierend auf den empirischen Untersuchungen aufgestellt.

9.1 Unterstützung und Zusicherungen

Hypothese 1: Bedarf und Commitment

Nur wenn Bedarf aus der Organisation und das Commitment des Managements zur Investition in MBSE vorhanden ist, kann mit einer erfolgsversprechenden Einführung von modellbasiertem Systems Engineering gestartet werden.

Die Bereitschaft des Managements zur Investition von Zeit und Geld in die Einführung von MBSE wird massgeblich durch den Bedarf aus der Organisation beeinflusst. Durch das Aufzeigen von Problemen in der Produktentwicklung und durch vorhandenen Leidensdruck verbunden mit der Argumentation, dass MBSE eine Lösung der Probleme darstellt, kann das Management für die Einführung gewonnen werden.

Das Management muss nicht nur die Bereitschaft zur Leistung von Mehraufwänden, wie Investition von Geld und Zeit garantieren, sondern auch möglicherweise Verzögerungen und höhere Initialaufwände bei der Einführung in Kauf nehmen. Dies wird noch ergänzt durch die Akzeptanz von Änderungen in der Organisation und bei den Prozessen. Es ist wahrscheinlich, dass neue Rollen definiert und bestehende Prozesse beeinflusst und angepasst werden müssen.

Wenn es gelingt, den Nutzen von MBSE während der Einführung dem Management wiederholt zu zeigen, dann kann das Commitment zur weiterführenden Investition aufrechterhalten werden. Damit bekommt die stetige Visualisierung des Nutzens während des Einführungsprozesses eine zentrale Rolle zuteil, welche den Prozess am Laufen hält (siehe Hypothese 6).

9.2 Voraussetzungen und Begleitmassnahmen

Hypothese 2: Schaffen von Voraussetzungen und Definition von Begleitmassnahmen

Das bewusste Schaffen von grundlegenden Voraussetzungen und der Definition von kontinuierlichen Begleitmassnahmen, ist eine weitere Voraussetzung, um mit der Einführung von MBSE zu starten.

Eine der wichtigsten Voraussetzungen, die vor der Einführung geschaffen werden muss, ist die Zusammenstellung eines Einführungsteams. Die Personen, die in diesem Team eingesetzt werden, müssen motiviert sein etwas Neues zu versuchen und gleichzeitig die Bereitschaft haben, sich weiterzubilden.

Damit das Einführungsteam, aber auch die betroffenen Leute der Organisation das nötige Wissen aufbauen können, muss ein Ausbildungs- und Schulungskonzept entwickelt werden. Die Schulungen werden zu Beginn der Einführung typischerweise von externen Experten durchgeführt und von Coaches begleitet. Es muss aber das Ziel sein, das interne Expertenwissen so aufzubauen, dass die Schulungen ab einem gewissen Zeitpunkt von Leuten aus den eigenen Reihen gehalten werden können. Das Schulungskonzept sollte die Bereiche Methodik, Modellierungssprache und Modellierungswerkzeug umfassen.

Damit MBSE mit einem Softwarewerkzeug umgesetzt werden kann, bedarf es eines Tools und der entsprechenden IT-Infrastruktur. Dieser Umstand sollte bereits vor der Einführung bearbeitet und vorbereitet werden, damit während der Einführung dieses Werkzeug allen Nutzern zur Verfügung steht. Es darf nicht vergessen werden, dass das Modellierungswerkzeug möglicherweise Schnittstellen zu bestehenden Tools, wie Requirements- oder Test-Management-Tools hat und diese entsprechend vorgängig bearbeitet werden müssen.

Eine gute Strategie, um Widerständen entgegen zu wirken, ist eine periodische und umfassende Information über die Einführung an die beteiligten Personen. Damit wird eine Transparenz bezüglich der Ziele und Aktivitäten geschaffen und alle wissen, was auf sie zukommt. Die Informationen sollten breit gestreut werden, dass auch Stakeholder ausserhalb des direkten Einflussbereiches der Einführung über das Vorhaben informiert sind.

9.3 Widerstände

Hypothese 3: Erkennen und Bearbeiten von Widerständen

Nur wenn es gelingt, die Widerstände zu identifizieren und Gegenmassnahmen zu ergreifen, kann mit einer erfolgreichen Einführung von MBSE gerechnet werden.

Widerstände gegenüber der Einführung von MBSE ergeben sich in vielfältigen Bereichen und aus unterschiedlichsten Motivationen heraus. Durch die Einführung von neuen Rollen, Methoden und Prozessen können sich Ängste bezüglich Verlustes von Status, Macht, Entscheidungskompetenz oder Mitspracherecht entwickeln. Gewohnte Arbeitsweisen verändern sich und die betroffenen MitarbeiterInnen müssen sich entsprechend anpassen und möglicherweise neue Verfahren oder Werkzeuge erlernen. Dies erzeugt Widerstände bei den betroffenen Personen, die dann versuchen, die neuen Methoden und Prozesse zu umgehen, nicht einzusetzen oder aktiv zeigen möchte, dass sie nicht funktionieren.

Während der Einführung von MBSE müssen diese Widerstände erkannt werden, um geeignete Gegenmassnahmen zu starten. Wenn sich die Mitarbeitenden zum Beispiel beklagen, dass die Prozesse zu aufwändig sind, die Toolbedienung zu kompliziert ist oder dass zu viel modelliert wird, dann könnten das Hinweise auf Widerstand sein, welchen nachgegangen werden muss.

Durch eine periodische Information über das Vorhaben und die nächsten Schritte (Hypothese 2) und das Erkennen des Nutzens (Hypothese 6) kann den Widerständen entgegengewirkt werden.

9.4 Expertenwissen zur Anwendung von MBSE

Hypothese 4: Experten in MBSE

Das Expertenwissen von MBSE ist eine Grundvoraussetzung bei der Einführung und Anwendung. Nur wenn interne Experten ausgebildet werden und kontinuierlich aus der Anwendung gelernt wird, kann sich MBSE längerfristig etablieren.

Das theoretische und praktische Wissen, wie MBSE angewandt wird, ist eine Grundvoraussetzung, dass mit der Einführung gestartet werden kann. Da dieses Wissen oft nicht von Beginn an vorhanden ist, muss es durch externe Experten/Expertinnen und Trainer in das Unternehmen gebracht werden. Dabei sollte es das Ziel sein, bestimmte Personen gezielt aufzubauen, damit sie später die Schulungen übernehmen und auch als Experten im Bereich MBSE in den Projekten agieren können. Diese Personen sollten Fähigkeiten in den Bereichen systemisches und abstraktes Denken, sowie Kompetenzen in guter Kommunikation aufweisen.

Ein weiterer wichtiger Umstand ist das kontinuierliche Lernen aus der Anwendung. Dazu sollten spezifische Massnahmen ergriffen werden, um einen kontinuierlichen Verbesserungsprozess zu installieren.

9.5 Nutzen von SE und MBSE

Hypothese 5: Nutzen von SE und MBSE

Die Identifikation von Nutzen in unterschiedlichen Bereichen ist zwingend notwendig, damit den Beteiligten aus unterschiedlichen Disziplinen die Vorteile sichtbar gemacht werden können.

Der Nutzen von MBSE kann unterschiedlichen Kategorien zugeordnet werden, welche verwendet werden können, um den Nutzen spezifisch zu identifizieren. Die folgenden Kategorien können als Startpunkt verwendet werden.

- **Ganzheitliche Systemsicht und -verständnis** durch die Erfassung und Visualisierung von Systemzusammenhängen.
- Das **Systemwissen wird zentral und wiederverwendbar** verwaltet. Die stets aktuelle Single Source of Truth ist für alle Beteiligten zugreifbar, so dass sie die benötigten Systeminformationen abrufen können.
- **Prozesse und methodisches Vorgehen** unterstützen eine systematische Analyse der Problemstellung und strukturieren die Realisierung eines Produktes.
- **Interdisziplinäre Zusammenarbeit** wird durch Systems Engineering und die gesamtheitliche und gemeinsame Sicht auf das System gefördert.
- Die **gemeinsame Sprache fördert die Kommunikation** über die Grenzen der unterschiedlichen Disziplinen und reduziert Missverständnisse.
- Das Systemmodell erhöht die **Transparenz** und hilft dem Team, die benötigten Informationen schnell und zuverlässig zu finden.
- Die **Qualität und Performance des Produktes** kann durch konsequente Anwendung von SE Methoden und der Verwendung des Systemmodells besser beeinflusst und abgeschätzt werden.
- Die **Verwendung des Modells** ermöglicht spezifische Auswertungen bezogen auf das Gesamtsystem und die Abhängigkeiten von einzelnen Elementen.
- **System- und Einflussanalysen**, welche durch das Modell und das Softwarewerkzeug ermöglicht werden, unterstützen bei Problemlösungen und Entscheidungsfindung.
- **Simulationen** ermöglichen eine frühe Verifikation des Systems, ohne bereits das ganze System aufgebaut zu haben.

Basierend auf diesen Kategorien können zu Beginn der Einführung Nutzenziele formuliert werden, welche später als Referenz für eine spezifische Analyse dienen. Die Auswirkungen des Nutzens auf die Prozesse und die Organisation wird in Hypothese 7 weiter analysiert.

9.6 Sichtbarkeit des Nutzens

Hypothese 6: Sichtbarkeit des Nutzens von MBSE

Die Sichtbarkeit des Nutzens ist das zentrale Element für eine erfolgreiche Einführung von MBSE. Wenn der Nutzen nicht erkennbar ist, dann wird sich das negativ auf die Einführung auswirken und der Prozess kommt zum Erliegen.

Auch wenn angenommen wird, dass der Nutzen vorhanden ist (vgl. Hypothese 5), so muss er doch sichtbar gemacht werden, um seinen Einfluss auf die Weiterführung von MBSE geltend zu machen. Eine Möglichkeit stellt die aktive Befragung der Beteiligten nach dem spezifischen Nutzen von MBSE in der aktuellen Umgebung und Situation dar. Dies stellt einen direkten Bezug von MBSE zur Anwendung her und fundiert nicht auf allgemeinen Nutzensaussagen aus der Literatur. Diese Befragungen können über periodische Retrospektiven realisiert werden.

Wenn sich bei den Antworten Artefakte oder Begebenheiten ergeben, welche einen Nutzen gestiftet haben, dann sollte dieser visualisiert und für alle sichtbar publiziert werden. Mit konkreten Beispielen aus dem Projektalltag kann der Nutzen nachvollziehbar dargestellt werden. Wenn sich die Visualisierung schwierig gestaltet, dann sind auch Präsentationen ein gutes Mittel, um die positiven Erfahrungen mit dem Team zu teilen. Die Kommunikation des erkannten Nutzens sollte an möglichst viele Personen adressiert werden und nicht nur an die Betroffenen oder das Management.

Die quantitative Messung des Nutzens wird immer wieder thematisiert. Es können Messgrößen wie «Zugriffe auf das Modell», «Anzahl der Änderungen über die Zeit», «Anzahl der Defekte» oder «Reduktion der Entwicklungszeit» definiert werden. Aber all diese Zahlen lassen keinen direkten und eindeutigen Rückschluss auf den alleinigen Nutzen von MBSE zu, sondern sind mit anderen Einflüssen, wie Projektaufgabe, Teamerfahrung oder Systemkomplexität, gekoppelt.

Bei der Sichtbarmachung des Nutzens sollte daher auf den nicht messbaren Nutzen fokussiert werden.

9.7 Einfluss auf die Prozesse und die Organisation

Hypothese 7: Veränderung von Prozessen und der Organisation

Nur wenn die Bereitschaft zur Änderung von Prozessen und der Organisation von Beginn an vorhanden ist, kann MBSE gewinnbringend eingeführt werden und seinen Nutzen entfalten.

Die Einführung kann mit einem Proof-of-Concept Projekt gefolgt von Pilotprojekten gestartet werden. Dazu bedarf es zumindest innerhalb dieser Projekte Anpassungen der Rollen, was die Projektorganisation und -durchführung beeinflusst. Die Prozesse werden während dieser Projekte kontinuierlich analysiert und angepasst, was einen stetigen Austausch mit den entsprechenden Stakeholdern und dem Management bedarf. Eine Begleitung der Einführung durch ein Changemanagement Projekt ist daher empfehlenswert.

Sobald sich MBSE im Unternehmen etabliert hat, werden die temporären Rollen und die auf die Pilotprojekte beschränkten Prozessanpassungen in eine stabile Organisation überführt. Diese Anpassungen können nur mit der Unterstützung des Managements vollzogen und müssen gut mit der bestehenden Organisation und den betroffenen Personen abgestimmt werden.

10 BEZUG ZU DEN FORSCHUNGSFRAGEN UND BEDEUTUNG FÜR DIE PRAXIS

Das Ziel dieser Arbeit ist es, Antworten auf die Forschungsfragen zu finden und Empfehlungen für die Praxis zu geben. Im ersten Teil dieses Kapitels werden die Resultate der theoretischen und der empirischen Forschung in den Kontext der Forschungsfragen gestellt. Der zweite Teil behandelt Handlungsempfehlungen für die Praxis.

10.1 Forschungsfragen im Kontext der theoretischen und empirischen Resultate

Ausgehend von den theoretischen Untersuchungen aus Kapitel 4, den empirischen Auswertungen in Kapitel 8 und dem daraus abgeleiteten Nutzenmodell aus Kapitel 9 werden Antworten auf die Forschungsfragen ermittelt.

F1: Wie kann der Nutzen während der Einführung von Model-Based Systems Engineering in Industrieunternehmen identifiziert werden?

Die Identifikation des Nutzens während der Einführung kann basierend auf dem Nutzenmodell aus Kapitel 9 durchgeführt werden. Wenn die Voraussetzungen für eine erfolgreiche Einführung geschaffen sind und die möglichen Widerstände beobachtet werden, kann mittels Befragung der Leute, die die Einführung durchführen, der Nutzen erkannt und dem gesamten Team sichtbar gemacht werden. Die definierten Kategorien, wie «Gesamtheitliche Systemsicht» oder «Zentrale und wiederverwendbare Wissensverwaltung» können verwendet werden, um spezifisch nach dem Nutzen zu suchen und zu fragen.

Der Nachweis des Nutzens kann nicht durch eine einmalige Betrachtung während der Einführung gemacht werden, sondern es ist nötig, eine periodische Analyse und Anpassung zu installieren.

F2: Wie kann das Nutzenpotenzial von MBSE vor der Einführung erfasst und identifiziert werden?

Den Nutzen vor der Einführung zu ermitteln und einen Bezug zum Unternehmen herzustellen, ist eine schwierige Aufgabe. Dies kann nur gelingen, indem aktuelle Probleme in der Systementwicklung betrachtet werden und geprüft wird, ob diese mit MBSE zu lösen sind. Nutzenanalysen aus der Literatur oder Erfahrungen von Unternehmen, welche MBSE bereits eingeführt haben, können verwendet werden, um den potenziellen Nutzen für die eigene Firma zu identifizieren.

F3: Welche Arten oder Kategorien von Nutzen gibt es im Bereich MBSE?

Basierend auf den theoretischen Untersuchungen wird der Nutzen in «quantifizierbar» und «nicht quantifizierbar» unterteilt, wobei bei dieser Unterteilung jeweils noch zwischen «direkt» und «indirekt» messbar unterschieden wird. Die empirischen Untersuchungen zeigen, dass bei der Anwendung von MBSE vor allem der nicht quantifizierbare Nutzen eine wesentliche Rolle spielt. Dieser zeigt sich sowohl direkt als auch indirekt. Die verbesserte Kommunikation zum Beispiel ist innert kurzer Zeit während eines Projektes erkennbar, wobei eine Verbesserung der Produktqualität erst nach der Auslieferung final erkannt werden kann und sich somit indirekt auswirkt.

Bei der Auswertung der empirischen Untersuchungen, des World Cafés und der Interviews, haben sich spezifische Nutzenkategorien ergeben, welche in Abschnitt 9.5 aufgelistet sind. Diese 10 Kategorien beinhalten auch die Kategorien, welche bei der Literaturrecherche definiert wurden.

F4: Was braucht es für Voraussetzungen, damit der Nutzen erkennbar wird?

Die Voraussetzungen, welche es für die Erkennung des Nutzens braucht, können vom Nutzenmodell aus Kapitel 9 abgeleitet werden. Zum einen müssen die Voraussetzungen für die Einführung geschaffen werden und es muss Bedarf für Veränderung vorhanden sein. Für die Erkennung des Nutzens kann der Ist-Zustand aufgenommen und somit eine Basis für einen Vergleich geschaffen werden. Eine weitere Voraussetzung, um den Nutzen erkennbar zu machen, ist, dass die Leute nach dem Nutzen gefragt werden und die Möglichkeit geschaffen wird, den erkannten Nutzen zu publizieren und zu verbreiten. Die einfachste und zugleich schwierigste Voraussetzung für die Erkennung des Nutzens ist das Starten und Durchführen von Pilotprojekten. Anhand der Erfahrungen in diesen Pilotprojekten kann der Nutzen sichtbar gemacht werden.

F5: Was könnten Hindernisse für die Entstehung des Nutzens sein?

Hindernisse für die Entfaltung des Nutzens von MBSE sind vielfältig und breit gestreut. Sie können bei der Infrastruktur, beim fehlenden Wissen bezüglich der Anwendung und bei zwischenmenschlichen und kulturellen Problemen auftreten. Details sind in den Abschnitten 8.1.2 und 8.2.3 aufgelistet.

Es muss sichergestellt sein, dass das Modellierungswerkzeug für die Anwendung geeignet ausgewählt wird, die erwarteten Funktionen und Schnittstellen zur Verfügung stellt und bedienerfreundlich zu handhaben ist. Damit gekoppelt ist die Verfügbarkeit einer zuverlässigen IT-Infrastruktur, die den uneingeschränkten und sicheren Zugriff auf das Systemmodell sicherstellt.

Wenn das theoretische und praktische Wissen zur Anwendung von MBSE nicht genügend vorhanden ist, kann sich kein Nutzen zeigen. Wenn die Umsetzung nicht beim ersten Mal gut geplant und kompetent durchgeführt wird, werden sich Hindernisse für die zukünftigen Anwendungen aufbauen.

Eines der grössten Hindernisse bei der Einführung und damit auch für die Entstehung des Nutzens, sind die beteiligten Personen selbst. Ängste vor Veränderungen und vor Verlust von Einfluss, Status und Macht führen oft dazu, dass die neuen Prozesse und Methoden nicht angenommen und somit auch nicht korrekt oder nur verzögert umgesetzt werden. Wenn dies passiert, kann sich der Nutzen nicht einstellen.

10.2 Handlungsempfehlungen für die Praxis

Ausgehend von den Forschungsergebnissen werden die folgenden Handlungsempfehlungen für die Einführung und die Identifikation von Nutzen von modellbasiertem Systems Engineering in der industriellen Produktentwicklung zusammengefasst.

Thema	Handlungsempfehlungen
Unterstützung und Zusicherungen	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Bedarf identifizieren: Es kann geprüft werden, ob die Probleme, die in abgeschlossenen oder laufenden Projekten aufgetreten sind, mit MBSE verhindert oder reduziert worden wären. Mit dieser Analyse kann der Bedarf für MBSE identifiziert werden. ▪ Phasenbasierter Ansatz: Die Einführung kann auf mehrere Phasen aufgeteilt werden. Gestartet werden kann mit einem Proof-of-Concept Projekt, um sich ein erstes Mal mit MBSE auseinanderzusetzen. Anschliessend werden ein oder mehrere Pilotprojekte durchgeführt und danach kann MBSE breiter ausgerollt werden. ▪ Pilotprojekt: Bevor mit der Einführung gestartet werden kann, muss die Unterstützung des Managements sichergestellt sein. Dies wird am besten erreicht, indem Pilotprojekte aufgesetzt werden, mit dem Ziel, MBSE während einer Produktentwicklung einzuführen.
Werkzeug und IT-Infrastruktur	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Zentrale Single Source of Truth: Das Modell muss auf einem zentralen Server abgelegt sein und jeder sollte darauf zugreifen können. Jedes Projektmitglied sollte zumindest Lesezugriff haben. ▪ Fehlende Schnittstellen: Im Systemmodell kommen Artefakte wie Anforderungen oder Tests zusammen, die möglicherweise in anderen Softwarewerkzeugen verwaltet werden. Es muss sichergestellt werden, dass das Modellierungswerkzeug geeignete Schnittstellen zu diesen Werkzeugen aufweist. ▪ Werkzeugbedienung: Die heute verfügbaren Modellierungswerkzeuge haben in der Bedienung noch Verbesserungspotenzial. Daher sollte bei der Auswahl des Werkzeugs darauf geachtet werden, dass geeignete Schulungen und Support angeboten werden.

Thema	Handlungsempfehlungen
Stakeholder-management und Betroffene	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Unterschiedliche Erwartungen: Die verschiedenen Stakeholder haben unterschiedliche Erwartungen an MBSE und die Nutzung des Modells. Diese Erwartungen sollten spezifisch abgeholt und berücksichtigt werden. ▪ Periodische Information: Die Personen, welche in den Pilotprojekten arbeiten, aber auch die Stakeholder von MBSE sollen regelmässig über den Status der Einführung und die geplanten nächsten Schritte informiert werden. Dies kann durch kurze Präsentationen oder durch Publikationen mittels den internen sozialen Netzwerken erreicht werden.
Schulungen und Experten	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Externe Trainer: Vor allem zu Beginn der Einführung sollten externe Trainer für die Schulungen eingesetzt werden. ▪ Unterschiedliche Schulungsniveaus: Es bietet sich an, zwischen unterschiedlichen Ausbildungsniveaus zu unterscheiden. Die Personen, die die Architektur erstellen und modellieren, benötigen eine detailliertere und vertiefere Ausbildung als die Personen, die die Modelle lesen und verstehen müssen. ▪ Andere Unternehmen: Es bietet sich an, Erfahrungen mit anderen Unternehmen, die in einer ähnlichen Phase sind, auszutauschen. So kann man gegenseitig von den positiven und negativen Erfahrungen der Anderen profitieren.
Widerstände	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Verlust von Status: Bei der Einführung von neuen Rollen oder Prozessen sollte genau darauf geachtet werden, welche Veränderungen dies zur Folge hat und wer davon betroffen ist, denn hier könnten sich Widerstände bilden. ▪ Nutzen nicht sichtbar: Wenn der Nutzen von MBSE für die Stakeholder nicht sichtbar ist, kann es dazu führen, dass die Mittel für die Einführung gekürzt werden. Es muss darauf geachtet werden, dass diese Leute periodisch über den Nutzen informiert werden. ▪ Nicht zu viel modellieren: Modellierung kann schnell zum Selbstzweck werden. Daher sollte bei jedem Modellierungsschritt gefragt werden, welchen Nutzen dieser Schritt bringt. Wenn kein Nutzen erkennbar ist, kann er weggelassen werden.
Aufbau von Experten	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Einführungsteam: Das Einführungsteam sollte aus Personen bestehen, die bereits eine gewisse Erfahrung mit MBSE haben, offen für neue Ansätze sind und die Bereitschaft mitbringen sich weiterzubilden. ▪ Anforderung an zukünftige Experten: Personen, die zukünftig MBSE in der Firma vorantreiben sollen, müssen Fähigkeiten in den Bereichen

Thema	Handlungsempfehlungen
	<p>systemischen und abstrakten Denkens, sowie Kompetenzen in guter Kommunikation aufweisen.</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Lernen «On the Job»: Die Experten sollten in den Pilotprojekten aktiv mitarbeiten und so direkt aus der Anwendung lernen, wie MBSE optimal angewandt wird.
Nutzen von MBSE	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Identifikation der Nutzenbereiche: Zu Beginn der Einführung sollte klar definiert werden, in welchen Bereichen ein Nutzen von MBSE erwartet wird. So kann eine Basis für eine spätere Nutzenanalyse gelegt werden.
Sichtbarkeit des Nutzens	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Periodische Retrospektiven: In den Pilotprojekten sollten periodische Retrospektiven eingeführt werden, um den Fortschritt und die Akzeptanz von MBSE kontinuierlich zu verfolgen und geeignete Massnahmen davon abzuleiten. ▪ Darstellung des Nutzens mit Beispielen: Sobald ein Nutzen erkannt wird, sollte dieser visualisiert und als positives Beispiel bekannt gemacht werden. Dies kann mittels eines Posters im Projektraum oder durch eine Präsentation erreicht werden. ▪ Verwendung des Tools: Die Messung der Anzahl Zugriffe auf das Modell könnte als Indikator für eine erfolgreiche Einführung genutzt werden. Ebenso könnten Anzahl der Änderungen im Modell über die Projektdauer als Metrik verwendet werden.
Einfluss auf Prozesse und Organisation	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Rollen: Bereits zu Beginn der Pilotprojekte sollten neue Rollen, wie zum Beispiel System Architekt, definiert und eingeführt werden. Diese können während den Pilotprojekten noch temporär verwendet werden.

Tabelle 10-1: Handlungsempfehlungen für die praktische Umsetzung

11 ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Das Ziel dieser Arbeit war es, das Nutzenpotenzial von modellbasiertem Systems Engineering bei der Einführung in Industrieunternehmen zu analysieren. Konkret wurde der Frage nachgegangen, wie der Nutzen von MBSE sichtbar gemacht werden kann. Dieses abschliessende Kapitel fasst die Arbeit im ersten Abschnitt zusammen und gibt im zweiten Abschnitt einen Ausblick für weiterführende Untersuchungen.

11.1 Zusammenfassung

Der Literaturreview hat gezeigt, dass es bereits einige Untersuchungen im Bereich des Nutzens von SE und MBSE gibt. Viele dieser Analysen sind in den Bereichen Rüstung, Luft- und Raumfahrt gemacht worden. Es ist festzustellen, dass immer mehr Publikationen auch ausserhalb dieser traditionellen SE Industrien entstehen und sich mit dem Thema des Nutzens auseinandersetzen. Der Nutzen von SE wurde in unterschiedlichen Bereichen untersucht. So zum Beispiel wie sich SE auf die Veränderung von Prozessen und Methoden auswirkt oder die Einführung eines PLM Systems beeinflusst. Es gibt auch Untersuchungen über die Qualität des Systemmodells, aus welchem Vorteile entstehen können, oder Analysen, wie SE den Erfolg einer Produkteinführung positiv beeinflussen kann.

Die Betrachtung von Publikationen in den angrenzenden Bereichen Projekt Management und Lifecycle Management, bezogen auf deren Nutzen für die Organisation und die Produktentwicklung, haben starke Analogien gezeigt. Auch hier geht es um die Fragen, wie kann der Nutzen sichtbar gemacht werden und Themen wie Kommunikation, Transparenz oder Wiederverwendbarkeit wurden angesprochen.

Die Recherche und Analyse dieser Publikationen hat den Grundstein für die Definition eines theoretischen Nutzenmodells von MBSE bei der Einführung gelegt. Diese initiale Definition wurde für die Gestaltung der empirischen Untersuchung genutzt und hat die Basis für die Fragen im World Café und bei den Experteninterviews gelegt.

Im World Café wurde der Fokus auf den Nutzen und die Hindernisse gelegt und es konnten wichtige Aspekte, wie die Beherrschung der Komplexität, die Bereitstellung einer Systemübersicht und die Verbesserung der interdisziplinären Kommunikation herausgearbeitet werden. Demgegenüber wurden Hindernisse, dass die Anwendung zu komplex und aufwändig oder der Nutzen nicht für alle Stakeholder erkennbar ist, identifiziert.

Bei den Experteninterviews wurde das Thema breiter betrachtet. Die Fragen beziehen sich auf die Voraussetzungen und Unterstützungen, die geschaffen werden müssen, auf die zu erwartenden Hindernisse, den erwarteten Nutzen und wie dieser sichtbar gemacht werden kann. Dazu wurden 6 Personen aus der unterschiedlichen Firmen befragt. Die Aussagen aus den beiden unterschiedlichen Untersuchungen, dem World Café und den Interviews, stimmen weitgehend überein oder ergänzen sich und konnten so für die Definition des finalen Nutzenmodells herangezogen werden.

Das Nutzenmodell betrachtet den Start der Einführung von MBSE getrieben durch den Bedarf und die Bereitschaft zur Änderung von Prozessen und der Organisation. Es listet die Voraussetzungen auf, welche nötig sind, um mit der Einführung zu starten und erläutert den Nutzen, der während der Anwendung von MBSE entstehen kann. Das Erkennen und Sichtbarmachen des Nutzens stellt einen zentralen Aspekt dar, der die Abhängigkeiten der unterschiedlichen Elemente des Nutzenmodells, vor allem die Widerstände, positiv beeinflusst.

Die einzelnen Elemente des Nutzenmodells werden detailliert beschrieben und zu jedem eine Hypothese aufgestellt, welche bei der Umsetzung in die Praxis geprüft werden kann. Die Ausführungen zu den einzelnen Komponenten sind so aufgebaut, dass sie als eine Art Leitfaden während der Einführung von MBSE in einem Unternehmen verwendet werden können.

Basierend auf dem Nutzenmodell in Kombination mit Aussagen aus dem World Café und den Interviews sowie aus der Literatur, konnten Antworten auf die Forschungsfragen gefunden und spezifische Empfehlungen für die Praxis gegeben werden. Es hat sich herausgestellt, dass die Ermittlung des Nutzens vor und während der Einführung von MBSE eine Herausforderung darstellt. Die Betrachtung von aktuellen Problemen in der Systementwicklung und die Prüfung, ob diese mit MBSE zu bewältigen sind, ist ein guter Startpunkt, um das Management von der Notwendigkeit einer Einführung zu überzeugen. Sobald die Bereitschaft zur Einführung vorhanden ist, können Voraussetzungen diesbezüglich geschaffen werden und es kann mit der Durchführung von Pilotprojekten gestartet werden. Durch die Darstellung der Resultate und die Befragung der Mitarbeitenden dieser Projekte kann der Nutzen sichtbargemacht werden.

Das Erkennen des Nutzens von SE und MBSE stellt immer noch eine grosse Herausforderung und eine Hürde bei der Einführung in einem Industrieunternehmen dar. Diese Arbeit soll mit der Erstellung eines Nutzenmodells für modellbasiertes Systems Engineering einen Beitrag leisten, diese Hürde zu reduzieren und stellt eine Art Leitfaden zur Verfügung, welcher bei der Planung der Einführung und der Anwendung von MBSE verwendet werden kann.

11.2 Ausblick

Im Fokus dieser Arbeit steht der Nutzen von MBSE, es wird aber nicht berücksichtigt, dass dazu finanzielle Investitionen notwendig sind. Die Analysen und Resultate dieser Arbeit könnten daher mit der Untersuchung der Aufwände und der Investition bei der Einführung von MBSE ergänzt werden. Dies würde zu einer gesamthaften Betrachtung von Aufwand und Nutzen führen. Mit der Analyse dieser Fragestellung könnte auch die Frage nach der Messbarkeit des Nutzens von MBSE nochmals aufgenommen werden.

Für weiterführende, wissenschaftliche Untersuchungen ist es denkbar, dass andere Forschungsmethoden zum Einsatz kommen. An erster Stelle wäre die qualitative Forschung zu nennen, wo mittels Umfragen die aufgestellten Hypothesen geprüft werden könnten. Diese Umfragen könnten auf mehrere Unternehmen und über unterschiedliche Industriezweige ausgeweitet werden.

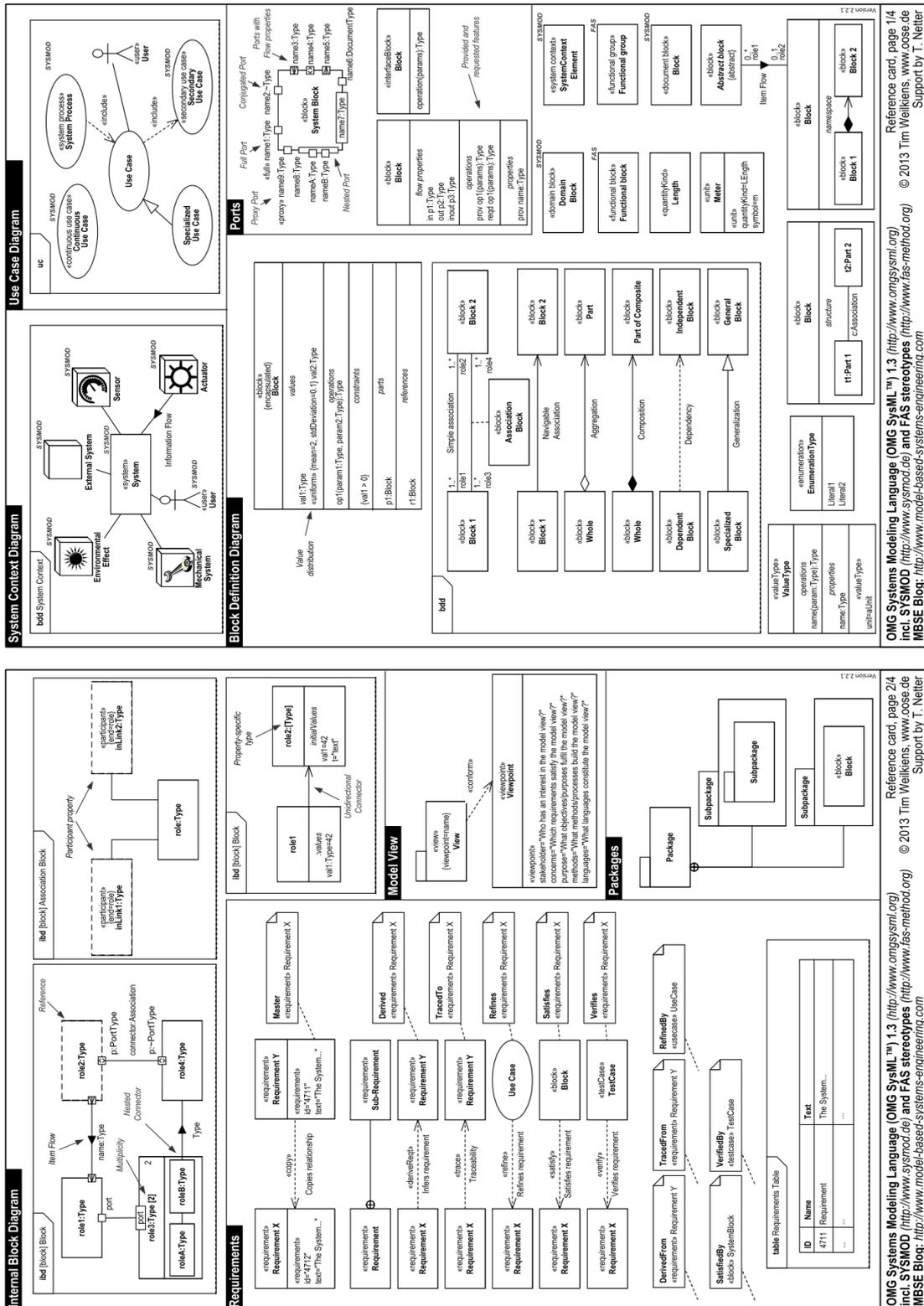
Der Nutzen von MBSE ist stark mit der Akzeptanz neuer Methoden und Prozesse in einem Unternehmen gekoppelt. Basierend auf dem Technologieakzeptanzmodell (TAM) von Davis

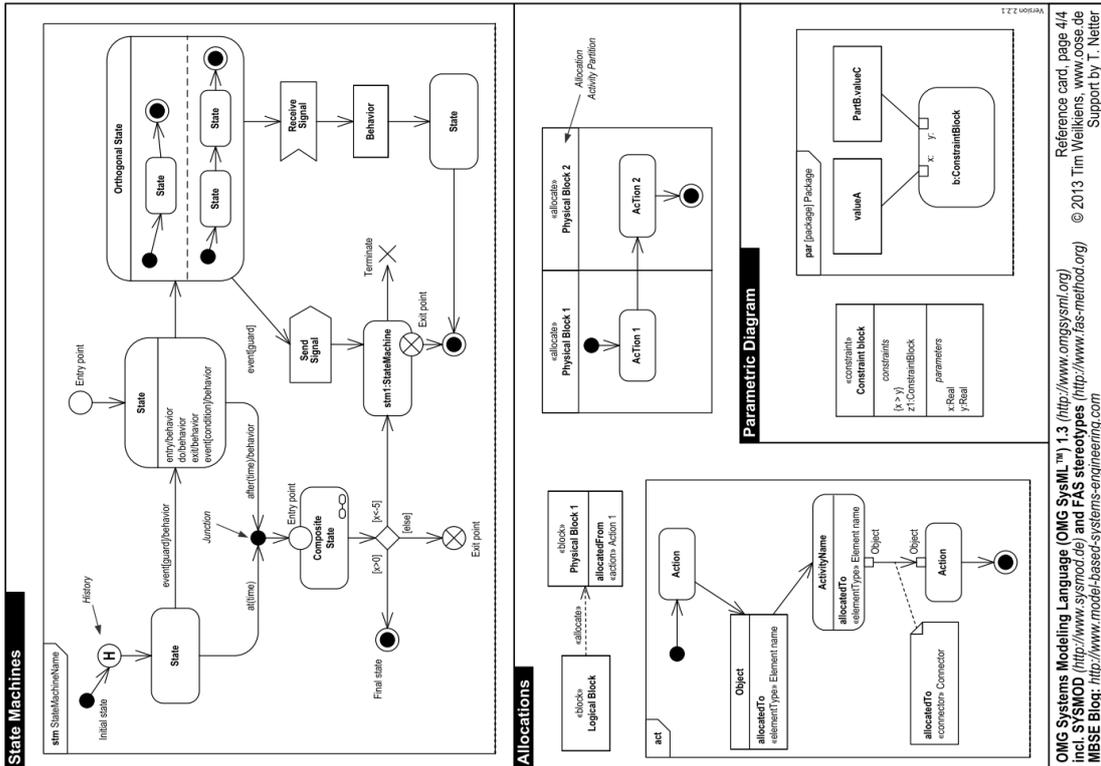
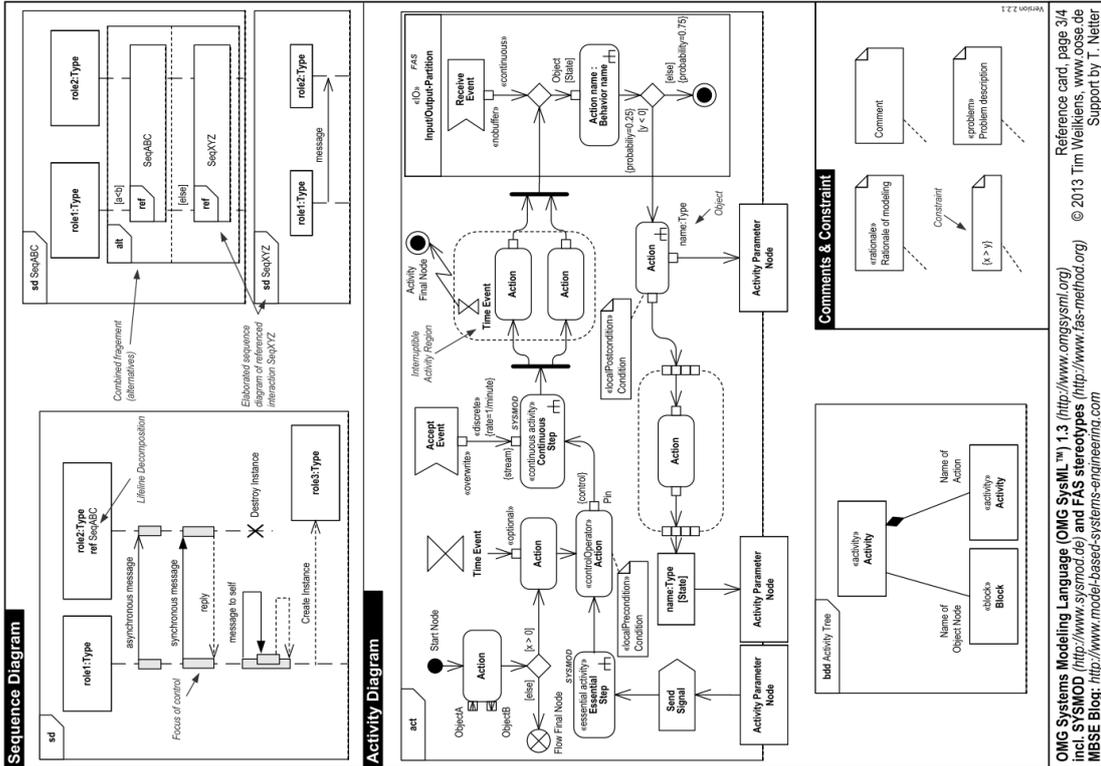
(1989) könnte die Akzeptanz vor, während und nach der Einführung systematisch untersucht werden.

Diese Zusammenstellung zeigt, dass es im Bereich Einführung und Anwendung von MBSE, gekoppelt mit dem Nutzen, noch viele offene Fragen gibt, die erforscht werden möchten. Die zukünftigen Einführungen von MBSE in Industrieunternehmen werden zeigen, ob das erarbeitete Nutzenmodell einen positiven Beitrag zur Erkennung des Nutzens leisten kann.

ANHANG A NOTATIONSÜBERSICHT DER OMG SYSTEMS MODELING LANGUAGE V 1.3

Die im Folgenden zusammengefasst Notationsübersicht wurde von Tim Weilkiens unter <https://model-based-systems-engineering.com/download/> zum Download zur Verfügung gestellt.





Version 2.1.1
 Reference card, page 3/4
 incl. SYSMOD (<http://www.sysmod.de>) and FAS stereotypes (<http://www.fas-method.org>)
 © 2013 Tim Weikens, www.coase.de
 MBSE Blog: <http://www.model-based-systems-engineering.com>
 Support by T. Neiter

Version 2.1.1
 Reference card, page 4/4
 incl. SYSMOD (<http://www.sysmod.de>) and FAS stereotypes (<http://www.fas-method.org>)
 © 2013 Tim Weikens, www.coase.de
 MBSE Blog: <http://www.model-based-systems-engineering.com>
 Support by T. Neiter

ANHANG B ONLINE BIBLIOTHEKEN UND SUCHBEGRIFFE

Tabelle B-1 gibt eine Übersicht der wesentlichen Online-Suchmaschinen und -Bibliotheken, welche für die Literatursuche und -Beschaffung verwendet wurden. Zum Teil ist der Zugriff beschränkt und nur mit einer Mitgliedschaft möglich.

Kurzbeschreibung	Internetadresse
Publikationen der INCOSE	https://www.incose.org/products-and-publications
Wiley online Bibliothek	https://onlinelibrary.wiley.com/
Konferenzband des TdSE (Tag des Systems Engineering der GfSE)	Nicht online verfügbar, sondern nur als Tagungsband
Google Literatur Suche	https://scholar.google.ch/
Google Books	https://books.google.ch/
Akademische Suchmaschine für Paper	https://scinapse.io/
Akademische Suchmaschine für Peer-Reviewed Publikationen	https://www.semanticscholar.org/
Soziales Netzwerk für Forscher in allen Bereichen der Wissenschaft	https://www.researchgate.net/
Publikationsverzeichnis der Uni Paderborn	https://www.hni.uni-paderborn.de/publikationen/
Generelle Suchmaschine	https://www.google.com/
Freie Publikationen von Project Performance International (PPI)	https://www.ppi-int.com/

Tabelle B-1: Übersicht der verwendetet online Ressourcen für die Literatursuche

Die wesentlichen Suchbegriffe in deutscher und englischer Form, die verwendet wurden, sind in Tabelle B-2 aufgelistet. Bei der Suche wurden jeweils MBSE oder Model-Based Systems Engineering verwendet, daher wird in der Liste nur MBSE angegeben.

In Deutsch	In Englisch
Einführung von MBSE / SE	Deployment of MBSE / SE
Rechtfertigung von MBSE	MBSE Justification
Nutzen / Nutzenpotenzial von MBSE	Benefit of MBSE
Wert von MBSE	Value of MBSE
Kosten der Einführung von MBSE	Cost of MBSE / Cost of MBSE Introduction
Wirtschaftlichkeit von MBSE	Business Case of MBSE

Messung des Erfolgs von MBSE	How to measure success of MBSE
Messung des Erfolgs bei Prozesseinführung / Methodeneinführung	How to measure success of new processes / methods

Tabelle B-2: Übersicht der verwendeten Suchbegriffe

ANHANG C ZUSAMMENFASSUNG DER LITERATUR ÜBER DEN NUTZEN

Anhang C.1 Zusammenfassung der einzelnen Publikationen bezogen auf die Einführung

In Abschnitt 4.2 werden Empfehlungen für die Einführung von MBSE gegeben. Tabelle C- listet die unterschiedlichen Publikationen auf und gibt für jede die wichtigsten Empfehlungen zur Einführung von MBSE an. Wenn in den Beiträgen ein Hinweis bezüglich Hürden und Widerständen bei der Einführung angegeben wird, dann geschieht dies in der letzten Spalte der Tabelle.

Autor und Literatur	Empfehlung zur Einführung	Hinweis auf Widerstände und Hindernisse
Alt (2012)	---	Die Einführung von MBSE bedingt einen Paradigmenwechsel, welcher nur mit der Unterstützung des Managements vollzogen werden kann.
Carroll und Malins (2016)	Ein gut dokumentiert SE-Prozess, ausgebildete Systems Engineers, Verfügbarkeit von Schulungen, MBSE Modellmanagementprozesse und Softwarewerkzeuge werden als wichtige Voraussetzungen für die Einführung genannt.	Der kulturelle Wandel bei der Implementierung von MBSE (Rollen, Verhalten, etc.) wird als eine grosse Hürde identifiziert.
Chami et al. (2018)	Die 3D MBSE Adoption Toolbox, bestehend aus einer Definitionsphase, einer Entwicklungsphase und einer Einführungsphase, soll den Unternehmen bei der Einführung von MBSE die Richtung weisen.	Der menschliche Faktor darf bei der Einführung nicht vernachlässigt werden. Die Veränderung von bekannten Prozessen kann grossen Widerstand erzeugen. Dies geschieht vor allem, wenn zu wenig Expertise vorhanden ist.
Huckriede et al. (2016)	In der Startphase soll der Nutzen des neuen Ansatzes anhand von alltäglichen Beispielen deutlich gemacht und spezifische Anforderungen an die MBSE-Methode formuliert werden.	Die heute verfügbaren Softwarewerkzeuge zur Systemmodellierung sind nur bedingt geeignet für KMU, da die Bedienung der Werkzeuge komplex ist und nicht nebenher gemacht werden kann.

Autor und Literatur	Empfehlung zur Einführung	Hinweis auf Widerstände und Hindernisse
Husung et al. (2018)	Durch die Definition und Beschreibung vom MBSE Use Cases kann identifiziert werden, welches Ziel erreicht werden soll und welcher Nutzen erwartet wird. Basierend auf der Liste von Use Cases können spezifische Bereiche ausgewählt und umgesetzt werden.	---
Hutchison et al. (2017)	Sie definieren 15 verschiedene Systems Engineering Rollen und unterteilen diese in drei Kategorien. Die Definition dieser Rollen schafft Klarheit bezüglich Aufgaben und Verantwortlichkeiten.	---
Knop et al. (2016)	Sie schlagen die Installation eines Systems Engineering Office vor, welches sich um die vier Haupthandlungsfelder Produkt, Prozesse, Organisation und Mitarbeiterkompetenz kümmert.	Die MitarbeiterInnen müssen überzeugt werden, sich für das Erreichen des angestrebten Wandels einzusetzen. Damit die Veränderung langfristig gelingt, muss ein kontinuierlicher Lernprozess installiert und die Aufgaben und Erfolgsfaktoren regelmässig auf den Prüfstand gestellt werden.

Tabelle C-1: Zusammenfassung der Beiträge zur Einführung von MBSE in einem Unternehmen

Anhang C.2 Kategorisierung der einzelnen Publikationen bezogen auf den Nutzen

Die in Abschnitt 4.4 besprochenen Beiträge beleuchten unterschiedlichste Aspekte von MBSE und dessen Nutzen. Tabelle C-2 fasst diese Analyse zusammen. Neben dem Autor und der Hauptaussage, inklusive Nutzen, wird angegeben, auf welche Branche sich der Beitrag bezieht (Spalte 3). Der zweite Aspekt stellt die Bereiche dar, wo ein Nutzen erreicht wurde (Spalten 4-7). Da mehrere Bereiche betroffen sein können, wird in der Tabelle ein Bezug der Publikation mit einem „X“ dargestellt. In Spalte 8 „Messbar / Theorie“ wird angegeben, ob es sich um eine theoretische

Betrachtung oder um eine konkrete und daher messbare Analyse handelt. Wenn es messbar ist, dann bedeutet das, dass entweder Metriken verwendet oder Leute befragt wurden.

Autor und Literatur	Hauptaussage und Nutzen	Branche	Prozess & Methode	Modell	Zusammenarbeit	Produkt-erfolg	Messbar (M) Theorie (T)
Alt (2012)	Ergebnisse aus der formalen Prüfung des Modells können als Metriken im Entwicklungsprozess eingesetzt werden.	Nicht spezifiziert		X			T
Beasley (2017)	Nutzen von SE kann nur entstehen, wenn zusätzlich zum Prozess auch systemisches Denken praktiziert wird und die Disziplin SE nicht ein weiteres Silo ist, sondern ein integraler Teil der ganzen Systementwicklung.	Luftfahrt Rüstung Grossprojekte	X				T
Elm (2011)	Vor allem bei anspruchsvollen Projekten kann durch Einsatz von SE, wenn die Kompetenzen vorhanden sind, eine signifikante Erhöhung des Projekterfolgs erreicht werden.	Luft- und Raumfahrt Rüstung				X	M
Franzen (2015)	Nutzen des 4 Quadrantenmodells von Ken Wilbert, um eine vollständige Sicht auf die angestrebte Organisationsänderung zu bekommen.	Nicht spezifiziert	X				T

Autor und Literatur	Hauptaussage und Nutzen	Branche	Prozess & Methode	Modell	Zusammenarbeit	Produkt-erfolg	Messbar (M) Theorie (T)
Hochstein et al. (2015)	Nachweis der Wirtschaftlichkeit von SE-Einführungsprojekten durch ein Potenzialmodell, welches Nutzenpotenzial mit messbaren KPI verknüpft.	Nicht spezifiziert				X	T
Honour (2013)	Durch Investition von 14% des Projektbudgets, kann die Effektivität von SE gesteigert und eine Verbesserung von maximal 7:1 erreicht werden.	Luft- und Raumfahrt Rüstung				X	M
Huckriede et al. (2016)	Durch die Verwendung eines zentralen Systemmodells wird ein schnelles Systemverständnis erreicht, die Analyse von Zusammenhängen vereinfacht, eine Vereinheitlichung der Kommunikation ermöglicht und das Änderungs- und Datenmanagement unterstützt.	KMU für kundenspezifische Lösungen			X		T
Kleiner und Husung (2016)	MBSE in der frühen Entwicklungsphase mit interdisziplinären Teams, um Komplexität zu beherrschen. Die Verwendung von MBSE Artefakten bringt einen Nutzen.	Automobil Gerätehersteller Anlagenbau			X	X	M
Le Sergent et al. (2016)	Automatisierte Checks zur Prüfung der Modellkonsistenz und automatische Dokumentgenerierung erbringen einen Nutzen.	Luftfahrt		X	X		M

Autor und Literatur	Hauptaussage und Nutzen	Branche	Prozess & Methode	Modell	Zusammenarbeit	Produkt-erfolg	Messbar (M) Theorie (T)
Madini und Sievers (2018)	Testfälle der aktuellen Designiteration als Regressionstest für die folgende Iteration verwenden. Nutzen durch unterschiedliche Sichten auf die vernetzten Artefakte.	Gerätehersteller	X		X		T
Steffen et al. (2016)	Entwicklung eines MBSE Reifegradmodells, um den Fortschritt und den Bedarf zu identifizieren und messbar zu machen.	Nicht spezifiziert	X		X		T
Tommasi und Vacca (2014)	Erweiterung des traditionellen PLM Frameworks mit MBSE Methode erhöht die Qualität und die Profitabilität.	Nicht spezifiziert	X			X	T

Tabelle C-2: Klassifizierung der Beiträge zur Analyse des Nutzens von MBSE für ein Unternehmen

ANHANG D WORLD CAFÉ

Anhang D.1 Teilnehmer

Die Liste in Tabelle D- stellt die Stichprobe, welche beim World Café teilgenommen hat, dar. Die Bewertung der Erfahrung wird relativ mit «Keine», «Wenig», «Mittel» und «Viel» vorgenommen. Um die Anonymität der Teilnehmer zu garantieren werden in der Liste keinen Namen genannt.

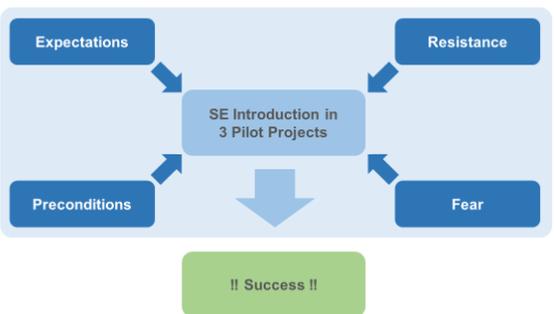
Name	Disziplin	Erfahrung in SE	Erfahrung in der Produktentwicklung
Anonym W.1	Produkt Manager	Keine	Viel
Anonym W.2	Projekt Manager	Keine	Viel
Anonym W.3	Produkt Manager	Keine	Mittel
Anonym W.4	Elektronik	Keine	Mittel
Anonym W.5	Konstruktion	Keine	Mittel
Anonym W.6	Software	Keine	Mittel
Anonym W.7	Software	Keine	Viel
Anonym W.8	Konstruktion	Wenig	Viel
Anonym W.9	Software	Wenig	Mittel
Anonym W.10	Manager	Wenig	Viel
Anonym W.11	System Architekt (Elektronik)	Mittel	Viel
Anonym W.12	System Architekt (Konstruktion)	Mittel	Mittel
Anonym W.13	Software	Wenig	Viel
Anonym W.14	Software	Keine	Mittel
Anonym W.15	Konstruktion	Wenig	Viel
Anonym W.16	Optikdesign	Mittel	Viel

Tabelle D-1: Stichprobe des World Cafés

Die Teilnehmer haben alle eine Einverständniserklärung für die Nutzung der Fotos und Videoaufnahmen unterzeichnet, welche beim Autor der Masterarbeit bei Bedarf eingesehen werden kann.

Anhang D.2 Präsentation

Am World Café wurde die folgende Power Point Präsentation zur Einleitung gezeigt. Bei einzelnen Folien sind Bemerkungen aufgelistet, welche den Teilnehmern explizit mitgeteilt wurden.

 <p>Systems Engineering Café</p> <p>Date: 19.02.2019 Author: WABE Version: 1.0</p>	<p>Content</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Agenda ▪ Purpose of the Systems Engineering Café ▪ Café Guidelines and Etiquette ▪ Question to be explored <p>2</p> <p>Hint: The result of the SE Café will also be used for Bernd's Master Thesis. Therefore, it would be appreciated if the participants sign a letter of agreement that photos and video recordings are made and used for the thesis.</p>
<p>Agenda</p>  <p>4</p>	<p>Purpose</p>  <p>6</p>

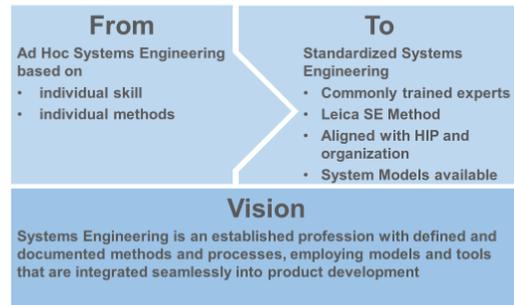
Purpose

Result of the SE Café shall

- Create a baseline for success measure
- Provide guidance for the introduction process
- Expose blind spots
- Support in the “learn & adapt” process

7

SE Vision



8

Café Guidelines

- 4-5 People per Café Table
- 3 Rounds with three different questions
- For every round, the tables are changed (besides the host)
- Everyone is encouraged to participate and contribute
- **IMPORTANT:** Record your insight visually on the paper

10

Roles in the SE Café

- Café Host (Bernd)
 - Make sure, insights are recorded
 - Lead through the workshop
- Table Host (to be determine)
 - Remain at the table when others leave
 - Briefly share key insights from the prior conversation
 - Gently encourage people at your table to jot down key connections, ideas, discoveries
 - Choose new table host at the end of every round
 - He is not a moderator!

11

Phases of the SE Café

- Question 1
 - Start discussion and visualize your insights
- Change Table / Next Question
 - Table Host summarizes the result from the previous group
 - New Question is presented
 - Start discussion and visualize your insights
- Summarize ideas and identify most important ones
 - Select the two to three most important topics
 - Discuss them and extend with new ideas
 - Prepare for a short presentation to the plenum
- Present the results from each table



12

Café Etiquette

Pictures are taken from the "The World Café Community Foundation" <http://www.theworldcafe.com> (Creative Commons Attribution license)



13

Note, that these pictures are taken from the www.theworldcafe.com webpage. On the table there are cards with the Café Etiquette as reminder.

1. Question

Where do we expect benefits from the introduction and application of model-based systems engineering?

Wo erwarten wir Nutzen durch die Einführung und Anwendung von modelbasiertem Systems Engineering?

15

2. Question

What could prevent us from making MBSE useful?

Was könnte uns hindern, dass MBSE seinen Nutzen entfaltet?

16

3. Question

How do we recognize that MBSE brings (measurable) benefits?

Woran und wie erkennen wir, dass MBSE einen (messbaren) Nutzen bringt?

17

Anhang D.3 Auswertung

Erwarteter Nutzen von MBSE

	Kategorie	Systemübersicht / Komplexität	Vernetzung der Disziplinen	Gemeinsame Sprache	Rückverfolgbarkeit (Traceability)	Single Source of Truth	Wissen erhalten und weitergeben
Gruppe	Aussage	9	5	5	3	3	2
G1.2	Abhängigkeiten sind sichtbar.	x					
G1.9	Kann auch ein Vorteil sein, denn wenn das Tool strikt in der Sprache ist, ist man gezwungen das Modell auch korrekt zu machen (gibt weniger Fehler).	x					
G2.1	Trichter für Markt-Requirements, Produkt-Requirements, Use Cases und Technologien. Wird alles zusammengeschnitten und mit Hilfe vom Tool modelliert, zum Beispiel Blockschaltbilder.	x					
G2.2	Systemübersicht bekommt man früh im Projekt.	x					
G3.1	Mit dem Tool und dem Modell kann die Komplexität systematisch verwaltet werden.	x					
G3.4	Verbesserte Visualisierung des Konzepts durch die Views des Modells. Welche automatisch oder zumindest mit Hilfe des Tools einfacher zusammengestellt werden können.	x					
G4.3	Requirements und Qualität werden verbessert indem modelliert wird und Zusammenhänge gezeichnet werden.	x					
G4.9	Tool und Toolhürde: Bedienung des Tools und Generierung der unterschiedlichen Sichten. Es sollten benutzerspezifische Sichten verwendet werden, dass sie das sehen was sie benötigen und diese Information einfach rausholen können. Dies hilft bei der Akzeptanz.	x					
G4.1	Grundsätzlicher Vorteil ist die Visualisierung mit einem gemeinsamen Modell, mit einer gemeinsamen Sprache.	x		x			
G1.3	Bessere interdisziplinäre Arbeit (ME, EE, SW, PM reden dieselbe Sprache).		x				
G4.2	Bei einer Problemlösung kann man gemeinsam am gleichen Modell diskutieren. Dies schafft ein grosses gemeinsames Verständnis und gibt weniger Missinterpretationen.		x				

	Kategorie	Systemübersicht / Komplexität	Vernetzung der Disziplinen	Gemeinsame Sprache	Rückverfolgbarkeit (Traceability)	Single Source of Truth	Wissen erhalten und weitergeben
G2.4	Durch die interdisziplinäre Arbeit kommt man zu einem gemeinsamen Verständnis (Common Language; Unterschiedliche Disziplinen diskutieren relativ eng miteinander; Common Tool; Common Idea).		x	x			
G3.2	Gemeinsame Sprache verwenden, die interdisziplinär und teamübergreifend verwendet wird.		x	x			
G3.5	Interdisziplinäres Verständnis, von dem was am Ende rauskommen soll.		x	x			
G1.1	Gemeinsame Sprache für viele Vorteile (Sprache SysML, Verständnis von Beginn an).			x			
G2.3	Traceability für Funktionen ist vorhanden und Auswahl der Technologie ist begründet.				x		
G4.4	Traceability der Requirements und der technischen Lösungen wird ermöglicht.				x		
G4.10	Modell soll es ermöglichen 100-seitige Dokumentation und Konzepte zu verhindern. Zusammenhänge sind im Modell erklärt.				x	x	
G2.5	Single Source of Truth. Alle arbeiten mit einer Quelle und jeder weiss wo er die Information findet.					x	
G3.3	Single Source of Truth. Alle wissen wo man die Information findet, die man braucht. Wo die Links sind, wie die Requirements zusammenhängen und auch die technische Umsetzung.					x	
G3.6	Effizientere Knowhow und Knowledge Transfer bei Übergaben oder neuen Mitarbeitenden (kann mit Hilfe des Modells gemacht werden).						x
G4.11	Recycling des Modells, Elemente und ganze Funktionsblöcke.						x

Tabelle D-2: Aussagen aus dem World Café bezogen auf den Nutzen von MBSE

Hindernisse, damit MBSE Nutzen entfalten kann

	Kategorie	Zu komplex und aufwändig	Unterschiedliche	Nutzen nicht erkennbar	Es wird zu viel modelliert	Fehlende Schnittstellen	Toolbedienung
Gruppe	Aussage	7	6	4	3	3	3
G1.4	Zu Komplex oder zu umständlich (in einer Wolke dargestellt).	x					
G1.5	Pflegeaufwand im Tool ist zu hoch.	x					
G1.8	Modellierung ist zu komplex oder zu umständlich ("Magic Draw ist mühsam").	x					
G2.7	Höherer Aufwand ist eine Gefahr. Besonders zu Beginn, zum Beispiel durch die Einarbeitung. Es muss mehr Zeit investiert werden.	x					
G2.8	Das Projekt startet schon und das Systems Engineering hinkt hinterher. Parallel wird doppelte Arbeit gemacht.	x					
G3.11	Der Grad der Detaillierung korreliert mit dem Aufwand, das Modell aktuell zu halten.	x					
G3.7	Das Modell muss aktuell bleiben. Wenn das Modell nicht ordentlich gepflegt wird, dann wird das Vertrauen automatisch verloren und die Leute werden das Modell nicht mehr verwenden.	x		x			
G1.11	Erwartungen der Stakeholder ist unterschiedlich. Zum Beispiel jemand erwartet, dass nur grob modelliert wird und jemand anders, dass bis ins Detail modelliert wird.		x				
G2.16	Es darf sich nicht nur eine Person um System kümmern, sonst fühlen sich die anderen nicht eingebunden, fühlen sich nicht verantwortlich und dann lebt SE nicht.		x				
G3.12	Tool wird nicht nur zur Dokumentation verwendet, sondern auch zur Kommunikation. Man nimmt an, dass wenn es im Tool ist, dass es alle mitbekommen.		x				
G2.6	Teammitglieder müssen den Nutzen des Tools sehen. Der Benefit, der von jedem einzelnen Teammitglied gesehen wird, der muss auf jeden Fall den höheren Aufwand überwiegen.		x	x			
G3.13	Problem mit nicht beteiligten Stakeholdern (Service, Produktion, Management). Wenn nicht erreicht wird, ihre Bedenken und Anforderungen ins Modell zu bekommen, dann wird dort Widerstand entstehen.		x			x	
G2.15	Besonders beachtet werden sollen die Personen, die nur über einen Viewer Zugriff haben. Es besteht die Gefahr, dass diese sagen, dass das Modell nur etwas für "die da oben" ist. Der Benefit muss allen Mitarbeitenden klar sein.		x	x		x	

	Kategorie	Zu komplex und aufwändig	Unterschiedliche	Nutzen nicht erkennbar	Es wird zu viel modelliert	Fehlende Schnittstellen	Toolbedienung
G2.9	Kurve Zeit vs. Resultat zu Beginn relativ flach (wenig Resultate), bis man sich eingearbeitet hat und erst später zum Ziel führt und die Kurve ansteigt.			x			
G1.7	Nicht zu viel modellieren, das heisst nicht zu tief ins Detail gehen. Ins Detail gehen gibt Diskussionen, welche nicht nötig wären.				x		
G3.10	Modell wird zum Selbstzweck.				x		
G3.9	Die Flughöhe, wie viele Details und was wird weggelassen (Level of modeled details). Gefahr, dass man zu viel ins Modell reinnimmt.				x		
G1.10	Fehlende Schnittstellen zwischen dem Modellierungswerkzeug und anderen Werkzeugen.					x	
G1.6	Tool ist allenfalls für uns unpassend, wir passen uns am Tool an und nicht das Tool an uns.						x
G3.8	Wenn das Tool zu komplex ist, dann wird es nicht gerne benutzt. Es sollte möglichst einfach bedienbar sein und die Information einfach gefunden werden. Gilt auch für die Sprache.						x
G4.8	Toolhürde; Tool ist kompliziert und mühsam zu bedienen.						x

Tabelle D-3: Aussagen aus dem World Café bezogen auf Hindernisse, die den Nutzen MBSE einschränken können

Messbarer Nutzen von MBSE

	Kategorie	Zugriffe auf das Modell	Unaufgeforderte Anwendung von	Feedback vom Team	Anzahl Änderungen über die Zeit	Weniger Defekte und Zeit	Anzahl Verbindungen zw.
Gruppe	Aussage	4	3	3	3	2	1
G1.12	Anzahl Zugriffe auf das Modell messen.	x					
G2.13	Messen der Nutzer über die Lizenzen (wie steigt diese Kurve).	x					
G3.14	Zugriffsstatistik des Web-basierten Tools verwenden. Wie viele Leute verwenden das Tool; wie oft wird das Tool aufgerufen; Wie viele verschiedene Nutzer sind aktiv. So kann bestimmt werden, ob die Verwendung ansteigt oder weniger wird. Dies ist ein indirektes Zeichen über den Erfolg.	x					
G4.6	Anzahl der Zugriffe über Zeit aufnehmen. Finden die Zugriffe nur am Anfang des Projektes statt und nachher nicht mehr oder eben nicht.	x					
G2.10	SE ist erfolgreich, wenn das Tool, die Konzepte und der Prozess auch ausserhalb des Projekts gelebt werden. Wenn das Tool und die Konzepte (von SE) auch im Lifecycle übernommen werden und wenn Elemente von einem Projekt ins nächste übernommen werden und nicht alles neugestaltet werden muss.		x				
G2.11	Prozesse sind akzeptiert. Hängt mit den Benefits zusammen.		x				
G2.12	Wenn das Team sagt, dass sie im nächsten Projekt nur noch mit diesem Tool oder Prozess arbeiten möchten.		x				
G1.15	Periodisches Feedback des Teams während dem Projekt (3 Smileys). Das Abfragen der Befindlichkeit erhöht auch die Akzeptanz des Teams und es kann korrigierend eingegriffen werden.			x			
G2.14	Auswirkungen auf die Lessons Learned, wenn sich die Gewichtung der ursprünglichen Probleme verändert. Beispiel, wenn Requirements-Management nicht mehr auf den obersten Rängen zu finden ist.			x			
G3.15	Feedback einholen von verschiedenen Leuten. Leute, die von Anfang an dabei sind, aber auch von neuen Leuten oder solchen, die den Lifecycle übernehmen. Aktiv nachfragen, ob sie mit dem Modell arbeiten und das Tool verwenden. Nachfragen, ob es ihnen hilft oder nicht.			x			
G1.14	Messen der Anzahl Änderungen. Wenn keine Änderungen mehr gemacht werden, dann ist das Modell "Tod".				x		

	Kategorie	Zugriffe auf das Modell	Unaufgeforderte Anwendung von	Feedback vom Team	Anzahl Änderungen über die Zeit	Weniger Defekte und Zeit	Anzahl Verbindungen zw.
G4.7	Anzahl Versionen / Änderungen verfolgen während der Dauer des Projekts.				x		
G1.13	Wenn das Modell nicht mehr weitergepflegt wird bis zum Produktrelease, dann erkennt man, dass es keinen Nutzen bringt oder nicht zielführend war. Das Modell ist "Tod".				x		
G3.16	Weniger Defekte oder Probleme während dem Projekt. Die Zahl sollte bei Projektvergleichen zurück gehen. Ist nur subjektiv zu messen.					x	
G3.17	Kürze Zeiten bis zur Markteinführung.					x	
G4.5	Messung der Anzahl Verbindungen zwischen den Elementen könnte als Metrik verwendet werden.						x

Tabelle D-4: Aussagen aus dem World Café bezogen auf den messbaren Nutzen von MBSE

ANHANG E EINLEITUNG EXPERTENINTERVIEW

Im Folgenden wird die Einleitung zum Interview dargestellt.

Vorstellung

Vielen Dank für die Gelegenheit zum Interview.

Mein Name ist Bernd Walser und ich studiere Systems Engineering Leadership am Campus 02 in Graz. Mein Interessensgebiet ist dementsprechend das Systems Engineering mit Fokus auf modellbasiertes Systems Engineering. Aktuell arbeite ich an meiner Masterarbeit.

Thema der Masterarbeit

Im Rahmen dieser setzte ich mich mit dem Nutzen von Systems Engineering im Allgemeinen und MBSE im Speziellen auseinander und der Titel meiner Masterarbeit ist:

Nutzenpotenzial von modellbasiertem Systems Engineering in der Industriellen
Produktentwicklung - Eine Analyse während der Einführung von modellbasiertem
Systems Engineering in Industrieunternehmen

In meiner Literaturrecherche bin ich auf unterschiedliche Einflussfaktoren bezogen auf den Nutzen von SE oder MBSE gestossen und auch auf unterschiedliche Bereiche wo SE oder MBSE einen Nutzen erzeugen kann. Dies würde ich gerne mittels Interviews weiter erforschen.

Ich möchte noch darauf hinweisen, dass im Kontext dieser Arbeit MBSE als eine Erweiterung von Systems Engineering betrachtet wird. MBSE soll nicht nur auf die Sprache SysML und Modellierung reduziert werden, sondern beinhaltet alle Aspekte von Systems Engineering und erweitert diese mit einem Modell. MBSE umfasst sowohl Prozesse, Methoden und Vorgehensweisen, als auch Modellierungssprache und Modellierungswerkzeug.

Interviewdauer

Das Interview wird ca. 50-60 Minuten dauern.

Erläuterungen zur Durchführung des Interviews

Ich verwende denselben Leitfaden für alle Interviews und daher kann es sein, dass gewisse Fragen nicht auf ihre Situation passen. Das bitte ich im Voraus zu entschuldigen.

Ich werde während des Interviews eine Tonaufzeichnung mitlaufen lassen. Diese dient zur späteren Transkription und Auswertung des Interviews. Die Aufnahmen und die daraus abgeleiteten Erkenntnisse werden nur anonym verwendet.

Ich würde sie bitten, die Einwilligungserklärung zur Erhebung und Verarbeitung personenbezogener Daten zu Forschungszwecken zu unterzeichnen (Freiwillig).

> EINWILLIGUNGSERKLÄRUNG UNTERZEICHNEN LASSEN

Ablauf

Starten werde ich mit ein paar Fragen zu ihrer Person und dann übergehen zu den thematischen Fragen bezogen auf die Forschungsarbeit.

> *AUFNAHME EINSCHALTEN (Datum und Ort angeben)*

Fragen zur Person

- Alter
- Gegenwärtige Position Funktion
- Akademische Laufbahn (kurz)
- Berufliche Laufbahn (kurz)

Weiter mit den Fragen aus dem Interviewleitfaden

ANHANG F KATEGORIENBEZOGENE ZUSAMMENSTELLUNG DER EXPERTENINTERVIEWS

Im Folgenden wird die Zuordnung der Textstellen aus den Interview-Transkripten zu den entsprechenden Kategorien dargestellt. Jede Hauptkategorie wird in einem separaten Abschnitt aufgelistet. Für die Kodierung wurde die Software MAXQDA der Firma VERBI Software GmbH verwendet (MAXQDA Standard Version 12).

In der Kopfzeile jeder Tabelle wird die Kategorie bestehend aus Hauptkategorie und Unterkategorie angegeben. Die erste Spalte der Tabelle bezieht sich auf die Quelle und ist aufgebaut aus der Bezeichnung des Experten und dem Abschnitt aus dem Experteninterview gemäss folgender Vorschrift:

E<Nummer des Experten>.Absatz des Transkripts

In der zweiten Spalte wird der codierte Ausschnitt aus dem Interview-Transkript aufgelistet.

Anhang F.1 Unterstützung und Zusicherungen

Unterstützung und Zusicherungen \ Bedarf ist vorhanden	
E1.52	Also es ist eher so, was ich so höre, dass die Leute interessieren sich für das Thema. Es scheint ein Bedarf da zu sein. Es ist Interesse im Sinn von Neugier, dass sie mehr wissen wollen, wie das genau läuft. Oder dass sogar auch anwenden wollen, weil sie es beispielsweise auch schon in der Ausbildung gehört haben. Jetzt aber Widerstände habe ich bis jetzt noch keine oder wenige gespürt.
E3.32	Beim Start hilft es natürlich immer, es wird die Notwendigkeit gesehen, dass diesen Schritt zu machen in Richtung Systems Engineering. Und wahrscheinlich hilft es, auch wenn es für das Unternehmen jetzt nicht positiv ist, wenn es irgendwo ein Leidensdruck da ist. Irgendetwas funktioniert nicht richtig in der Produktentwicklung und dann, wenn die Notwendigkeit gesehen wird, etwas zu ändern, weil Projekte nicht mehr erfolgreich sind oder zu lange dauern, oder wie auch immer, dann ist das schon eine gute Voraussetzung wahrscheinlich zum, dann ist das Management schon überzeugt, dass es das braucht
E3.110	In bisherigen Projekten, vor den Pilotprojekten, denke ich schon, dass wir Projekte hatten, in denen Systems Engineering zu wenig konsequent gemacht wurde und damit meine ich konkret das hinterfragen, was brauche ich wirklich, um die Kundenanforderungen zu erfüllen. Beziehungsweise zu fragen, was sind dann wirklich die Kundenanforderungen.
E3.112	Management Support, das heisst, irgendjemand muss einen Leidensdruck haben oder Benefit sehen, von der Einführung von MBSE, am besten jemand, der viel zu sagen hat.
E4.28	Zuerst muss man den Need for Change aufzeigen, das ist das wichtigste, dass man zeigt, wieso müssen wir uns verändern. Das ist der erste Schritt und der zweite Schritt zu zeigen, wieso das Systems Engineering die Lösung dazu ist.
E4.86	Das wichtigste ist, dass man die Motivation sehr klar ist, wieso man Systems Engineering einführt und was man damit erreichen möchte. Das muss vom Management getragen werden und von den Mitarbeitern getragen werden, dieses "Wieso dass man es machen möchte".

Unterstützung und Zusicherungen \ Bereitschaft zur Einführung von MBSE	
E3.46	Grundsätzlich glaube ich, dass von den Mitarbeitern der Systems Engineering Ansatz in den meisten Fällen auf offene Türen stösst, der kommt überall gut an. Weil, es heisst ja, also in meiner Wahrnehmung, dass es Systems Engineering Team zum Beispiel sich wirklich um die Entwicklung von dem System oder um die Entscheidungen, die das System betreffen, kümmern kann. Ich glaube, das ist grundsätzlich etwas das begrüsst wird.
E4.44	Auf Ebene Abteilungsleiter haben wir extreme Unterstützung bei der Einführung. Dort haben wir überhaupt keinen Widerstand. Aber weil sie auch die Fahnenträger sind auch für ihre Teams, fällt ihnen natürlich auch dann die Aufgabe des Change Agent zu, wo sie das dann wirklich auch in ihre Abteilung reintragen müssen, sobald es definiert ist.
E6.28	Ja, weil es ja den Rückhalt nicht hat auf Managementseite im ersten Schritt, braucht es zuerst irgendwelche U-Boot Projekte. Oder aber man muss solche Dinge einfach einführen, wo man eine Lücke sieht.

Unterstützung und Zusicherungen \ Bereitschaft zur Einführung von MBSE \ Mehraufwand	
E1.20	Also wenn das Modell das allererste Mal für ein Produkt erstellt wird, ist mit einem Mehraufwand zu rechnen. Also das ist rein das technische, das Modell zu erstellen. Mit den Leuten oder mit den Teammitglieder zusammen. Ich denke das muss, der Rückhalt da sein, dass man das machen kann. Das ist auch ein vielleicht nicht zu unterschätzender Mehraufwand, den man berücksichtigen muss.
E1.20	Das sind bei ..., jetzt im Falle eines Systems T, wie implizites Wissen, das in vielen Köpfen vorhanden ist, aber noch nirgends so zentral irgendwo aufgeschrieben steht, auf einer Flipchart oder vielleicht im Modell. Und da braucht es auch das Commitment, dass man das jetzt erfragt und daran arbeitet, vielleicht auch triviale Sachen auf den Punkt bringt und so probiert zum Erarbeiten. Da braucht es auch die Zusicherung des Managements.
E1.21	I: Habe ich richtig verstanden, die Zusicherung, dass man die Initialaufwände betreiben darf. E1: Einerseits sind es die Initialaufwände, andererseits vielleicht aber auch die..., dass man das jetzt im Unternehmen wirklich zusammentragen will, weil das ist so Wissen, das in unterschiedlichen Disziplinen verteilt liegt.
E2.16	Ich denke es muss ein grundsätzliches Commitment vorhanden sein, dass ich nicht nur ausdrückt in der zur Verfügungstellung von Ressourcen und entsprechender Zeit und auch natürlich den finanziellen Mitteln, die notwendig sind, sondern auch das Commitment, dass wirklich innerhalb eines Projekts möglicherweise, wirklich durchzuziehen. Ich denke aber, es ist wichtig, dass man gewisses Abbruchkriterium auch vereinbart mit dem Team, um sicherzustellen für den Fall, dass es nicht funktioniert, dass Ineffizienzen auftreten, dass man das Ganze quasi auch mit einem Sicherheitsnetz ausstattet.
E2.74	Wie immer, Commitment vom Management, dass wir das wirklich tun wollen. Möglicherweise auch mit einem klar definierten Abbruchkriterium und Fangnetz. Das Zweite ein Commitment zu einer sinnvollen, umfassenden Schulung auf verschiedenen Levels und der Identifikation von verschiedenen Gruppen.
E3.32	es braucht das Verständnis, dass es ein längerer Prozess ist, das Systems Engineering einzuführen. Also man muss bereit sein, diesen langen Weg zu gehen. Vielleicht gewissen Leerlauf während dieser Zeit zu haben, dass vielleicht nicht die Effizienz sofort gesteigert wird, die Effektivität sofort gesteigert wird. Also diese Durchhaltevermögen braucht es. Und auch finanziell muss es gewisse Geld geben für Consulting, vielleicht Support von Externen, Training, und so weiter.
E3.52	Grundsätzlich so kostenmässig, wenn jetzt irgendjemand nur die Kosten im Auge hat und die Projektkosten werden initial etwas höher werden durch die Aufwände, die wir durch Systems Engineering haben. Das können wir auch ausweisen, andererseits können wir aber den Benefit nicht finanziell ausweisen. Das hat schon auch gewisse Potenzial für Konflikte mit Controlling, und so.
E4.26	Die wichtigste ist Zeit und das andere sind die finanziellen Mittel, die es braucht, weil die Einführung, die kostet auch. Aber vor allem das Kritische finde ich mehr das Zeit-Commitment, das notwendig ist.

Unterstützung und Zusicherungen \ Bereitschaft zur Einführung von MBSE \ Mehraufwand	
E4.30	Das andere ist, der Zeitfaktor, den es braucht. Es ist ein Veränderungsprozess, der Zeit braucht und es braucht Investitionen in die Mitarbeiter, in die Organisation und das sind auch wieder Kosten, die gerechtfertigt werden müssen.
E5.20	Das wichtigste sind wahrscheinlich die internen Ressourcen, die man zur Verfügung hat. Einerseits um an den Projekten zu arbeiten, aber auch um die Projektmitarbeit zu schulen und dann braucht es noch Ressourcen in Form von Geld, für Coachings und Schulungen und so weiter.
E5.56	Ich denke die Ressourcen müssen bereitgestellt werden. Für die Mitarbeiter.
E6.22	Das Problem dabei ist die Überzeugung, dass das Management den Vorteil sieht, dass die Investition sich auszahlen, weil in einem ersten Blick, wenn man sich nicht tief damit beschäftigt kommt man zum Schluss, das kann man eigentlich nicht einführen.
E6.24	Man braucht Raum und Zeit für den Aufbau. Man muss Leute ausbilden, man muss Prozesse anpassen. Es geht immer um die Leute und das braucht Zeit, weil das kann man nicht einfach per Kommando umstellen.
E6.30	Das andere ist der Zeitdruck, weil das Management muss ja auch liefern und dann werden sie entscheiden, kurzfristig ist besser, Quick and Dirty, als langfristige Investition, weil das wird ihnen nicht honoriert.

Unterstützung und Zusicherungen \ Bereitschaft zur Einführung von MBSE \ Organisationsänderungen	
E1.30	Vielleicht braucht es gewisse Rollen im Team, wer jetzt zuständig ist zum Beispiel wie das Modell erarbeitet wird oder wie es dokumentiert wird und wer das abfüllt, zum Beispiel im Modell selbst. Dort braucht es vielleicht schon gewisse Klärungen, so wie wir die Rollen in einem neuen Projekt auch klären.
E2.24	Bei der Einführung, denke ich, wenn die Einführung über ein Konstrukt, wie ein Projekt ablaufen kann, denke ich nicht, dass es organisatorische Änderungen braucht, die quasi permanent sind, sondern ich denke, dass für die Laufzeit des Projektes Rollen geschaffen werden können, die auch von Management her ein wirkliches Commitment haben, die auch auf Managementebene so in die Organisation kommuniziert werden, so dass auch die entsprechende Ausstattung an Einfluss habe. Wenn sich MBSE etabliert in einer Organisation, ist es dann möglicherweise ein natürlicher Schritt dazu, herzugehen und diese Rollen und diese Funktionen dann zu institutionalisieren, möglicherweise ein Linienteam zu etablieren, das sich wirklich permanent mit MBSE beschäftigt.
E2.26	Für mich wäre so das typische Mapping zu jetzt bestehenden Rollen, so quasi Systemarchitekten. Relativ hoch abstrakt angesiedelt, eher auf Initiativenebene und dann müssten man wirklich Schritt für Schritt entscheiden, bis auf welchen Detaillierungsgrad man mit MBSE wirklich gehen möchte und möglicherweise hängt das vom Projekt, der gesamten Konstellation der Initiative ab. Aber typischerweise wären das für mich Architekten, System Architekten, die diese Rollen in MBSE ausfüllen.
E3.38	Ich denke schon, dass es ein gemeinsames Verständnis von der Rolle des Systems Engineer, vom System Architekt geben muss, damit auch klar geregelt ist, was er entscheiden kann, wo er mitsprechen muss und so weiter. Und auch vielleicht auch im Umfeld vom Projektleiter und Produktmanager. Auch dort. Es gab bisher auch ohne System Architekt, gab es irgendjemand, der sich für technische Entscheide verantwortlich gefühlt hat. Und jetzt, wenn der System Architekt dazukommt, dann übernimmt er diese Verantwortung, das heisst nimmt man irgendjemanden weg. Ich glaube, dass das, diese Verantwortungen müssen geklärt werden, diese Rollen müssen geklärt werden. Mindestens im Projekt, noch besser wahrscheinlich, wenn es eine Vorgabe von aussen schon gibt.
E3.52	Jetzt in unserem Fall haben wir, also rein von den existierenden Prozessen her und den existierenden Rollen her, sehe ich ein gewisses Konfliktpotenzial zum Produktmanagement. Die greifen recht, also durch die Rollen, die es da gibt, Product Architekt, Product Shaper und so weiter. Die greifen schon recht tief in das Systems Engineering rein, mit ihren Prozessbeschreibung usw. Also rein von der Beschreibung dieser Prozesse und Rollen, denke ich gibt es da Konfliktpotenzial, obwohl jetzt aus dem Feedback, das wir bekommen haben von dort, eigentlich recht positiv ist, rein von der Beschreibung her sehe dort Potenzial für gewisse Konflikte. Klassische Disziplinen und PM (Anmerkung: Product Management). Ich glaube das sind die Sachen, wo ich Konfliktpotenzial sehen.

Unterstützung und Zusicherungen \ Bereitschaft zur Einführung von MBSE \ Organisationsänderungen	
E4.26	Das Management muss sich bis zu einem gewissen Grad auch mit dem Thema auseinandersetzen. Nur wenn das Management auch dahintersteht und auch den ganzen Change-Prozess unterstützt, kann die Einführung richtig gemacht werden. Sie müssen sich auch die Zeit nehmen um gewisse Sachen in der Organisation zu definieren und festzulegen. Sie haben dort eine grosse Verantwortung, wirklich auch die Entscheidungen zu treffen, die die Organisation betreffen.
E4.32	Ja, mit Systems Engineering kommen automatisch neue Rolle dazu. Die müssen in der Organisation dann klar definiert sein, welche Rolle hat auch welche Verantwortung und wo die organisatorisch platziert sind. Weiter sind auch die Schnittstellen zu den umgebenden Bereichen zum Teil betroffen. Das muss auch auf dem organisatorischen Level abgebildet sein.
E4.38	Der Entwicklungsprozess wird bei uns überarbeitet. Der wird neu gemacht oder der wird sich massiv ändern. Auch ausserhalb der Prozesse werden sich gewisse Schnittstellen verändern. Aber dort müssen wir noch herausfinden, wo der Einfluss überall liegt.
E4.44	Die Abteilungsleiter werden sehr stark involviert und müssen auch gerade bei den Rollen und Verantwortungen mitgestalten, damit sie auch dort das mittragen.
E5.32	Ich denke, es braucht eine Systems Engineering Gruppe, ein Team, das sich wirklich um diese Aspekte kümmert, die dann auch flächendeckend über die ganze Firma bei den Projekten mitarbeiten können.
E5.32	Da denke ich, wenn das eine Systems Engineering Gruppe ist, ob das eine Fachgruppe ist oder eine Abteilung ist, spielt keine Rolle, aber wichtig ist, dass das ein Team ist, das zusammengehört und dann in den Projekten mitarbeitet.
E5.34	Ich denke, es müssen Spezialisten für die Architektur drin sein, für das Requirements Engineering, für das Testing. Das sind für mich die drei Kernkompetenzen, die vorhanden sein müssen.
E6.32	Ich glaube die Organisation muss dem Problem, das man lösen will angepasst sein. Das passt dann letztendlich auch was der Herr Conway schon in den 1960er Jahren gesagt hat, dass das System, das entwickelt wird, die Informationsstruktur der Organisation widerspiegelt. Das heisst, mit der Organisationsarchitektur setzt man die ersten Punkte der Produktarchitektur. Aber Systems Engineering ist ja nicht als eigenständige Tätigkeit nötig, sondern das wird auf allen Ebenen nötig sein, einfach in unterschiedlicher Intensität.
E6.34	Rollen sind sehr gut. Sollte viel mehr gemacht werden. Wenn man zum Beispiel, den Prozess modellieren würde, dann würde man solche Rollen erkennen. Eigentlich analog, wie man ein System entwickelt, die Funktionen identifiziert, sind das in der Organisation die Rollen. Die muss man ja mit Leuten realisieren könnten, das wäre gut, wenn man das tun würde, dass das auch transparent wird, was die einzelne Person leisten soll.

Unterstützung und Zusicherungen \ Bereitschaft zur Einführung von MBSE \ Prozessänderungen	
E1.20	Das Zweite ist, denke ich, dass man vom Prozess her, dem Management klar aufzeigen ... oder die Bestätigung braucht, dass man diesen Prozess auch so durchführen kann.
E3.34	Und der Wille, etwas zu ändern. Also man muss sich auch trauen gewisse Strukturen zu ändern, Prozesse zu ändern.
E5.20	Zusätzlich muss irgendwo eine Bereitschaft da sein, dass man es überhaupt machen kann, weil zuerst ist es so oder so eine Investition, die sich dann später auszahlen wird.
E6.24	Man braucht Raum und Zeit für den Aufbau. Man muss Leute ausbilden, man muss Prozesse anpassen. Es geht immer um die Leute und das braucht Zeit, weil das kann man nicht einfach per Kommando umstellen.

Anhang F.2 Voraussetzungen und Begleitmassnahmen

Voraussetzungen und Begleitmassnahmen \ Modellierungswerkzeug und Infrastruktur	
E1.60	Also ich denke die Leute, die wirklich modellieren, die müssen natürlich ihr Werkzeug verstehen. Das der Input, der ja nicht im Werkzeug erstellt wird, sondern meistens im Team

Voraussetzungen und Begleitmassnahmen \ Modellierungswerkzeug und Infrastruktur	
	zusammen an einem Whiteboard erstellt, dass das im Anschluss speditiv im Modell abgebildet werden kann und dann die Leute aber auch einen Zugang wiederfinden, dass man das im Nachhinein wieder anschauen kann, was man modelliert hat. Oder Zusammenhänge sieht, wie das jetzt alles zusammenkommt und wo ich die Information finde
E1.62	Wichtig ist, dass alle Zugriff auf das Modell haben, denke ich. Da sollte man keine Einschränkungen machen müssen. Und es muss, wie ein Bug-Tracking Tool für uns oder ein Requirements Engineering Tool für uns Zugriff permanent sichergestellt sein, über eine Serverlösung zum beispielsweise.
E1.78	Alle müssen später mit dem Modell arbeiten, da sie mit irgendeiner Komponente daran arbeiten. Die müssen die Information auch nutzen können, also Zugriff haben zu all den Informationen und das lesen können und die Sprache verstehen.
E1.116	Ich denke, nachher ist es wichtig, dass man die Information verteilt, dass alle die Möglichkeit des Zugriffs auf diese Informationen haben, dass man das sicherstellt.
E2.38	Möglicherweise kann man da auch relativ einiges machen, wenn es über die Toolschnittstellen geht, dass es da quasi einen nahtlosen Übergang gibt.
E2.58	Für mich korreliert die Einführung oder die Verfügbarkeit eines Tools und der Infrastruktur mit der Grösse des Projekts. Wenn ich ein relativ kleines Projekt habe, mit wenigen Leuten, ein kleines Core-Team, das sich einfach um ein Whiteboard versammeln kann, dann ist das Tool weniger wichtig. Dann kann ich wahrscheinlich mit Diagrammen auf einem Whiteboard, mit Fotos, mit Ablagen, usw. komme ich wahrscheinlich relativ weit. Sobald es in eine Richtung geht, wo wir ein System modellieren, wo mehrere Teams, möglicherweise mehrere Projekte daran arbeiten, ist es essentiell, dass es eine Toolinfrastruktur gibt, die wirklich verfügbar für die relevanten Personen innerhalb des Projektes ist und dann reden wir wahrscheinlich nicht mehr von nur vier, fünf, sechs Personen, sondern eher von an die zwanzig oder dreissig Personen, die auf diese Informationen zugreifen können müssen.
E3.44	Was mir aufgefallen ist, betrifft Toollandschaft. Das ist wahrscheinlich etwas das man berücksichtigen muss. Es gibt ja an verschiedenen Stellen Produktdokumentation oder Entwicklungsdokumentation. Das Modell, das Systemmodell, das ist irgendwie, das kommt als neue Dokumentation dazu und das soll sinnvollerweise irgendwie eingebettet sein in die Dokumentation, die es schon gibt, CAD, irgendwelche Elektronikdokumentation von Board, Layouts, usw., dass man irgendwie hier ein einheitliches, eine einheitliche Toollandschaft entwickelt oder aufbaut wo sich praktisch das Systems Engineering Tool auch mit integrieren kann.
E3.66	Wenn ich jetzt das Tool oder das Modell nicht hätte, dann kann ich das zwar gut diskutieren, ein Verständnis schaffen, aber es könnte sein, dass die Information wieder veraltet oder hinfällig wird durch irgendwelche anderen Änderungen, die es gegeben hat. Das heisst, mit dem Tool mach ich praktisch die Dokumentation, so dass jeder darauf zugreifen kann und kann die dann auch anpassen, falls es Änderungen gibt.
E3.68	Also rein für ein Proof-of-Concept braucht es nur eine Installation vom Tool auf den PC's der Personen, die modellieren möchten. In unserem Fall haben wir uns in Projekt X bereits entschieden, solche Setups für grosse Teams auszuprobieren. Das hilft natürlich schon, wenn ich das Proof-of-Concept ausprobieren. Ist denke ich nicht zwingend erforderlich, aber hilft. Sobald ich produktiv gehe, muss ich natürlich sicherstellen, dass das Tool immer funktioniert.
E3.70	Ich muss sicherstellen, dass das Tool immer funktioniert. Das heisst, IT muss irgendwie. Es macht Sinn, dass irgendeine Person, ob es IT ist oder nicht, aber wahrscheinlich macht es in IT am meisten Sinn, verantwortlich ist, dass es immer funktioniert, Lizenzen sind verfügbar, wenn irgendetwas nicht funktioniert, habe ich einen Ansprechpartner. Das heisst, IT muss für Maintenance und Support ansprechbar sein. Und was es auch braucht, wenn ich Modelle habe, die ein reales System abbilden, ist ein Backup. Das Modell soll die Dokumentation vom System sein, wird nachgeführt, ist die Single Source of Truth, im besten Fall und muss entsprechend auch gesichert sein, damit falls irgendwo Daten verloren gehen, das wiederhergestellt werden kann.
E3.70	Und es braucht Zugriffsmöglichkeit auf die Modelle des Teams.
E3.86	Rein von den Schnittstellen zu anderen Tools, sehe in unserer Toollandschaft ich noch recht viel Herausforderung. Mit bestehenden Tools. Rein vom Austausch mit anderen Tools sehe ich momentan eher noch Mehraufwand, als Nutzen. Testorganisation, zum Beispiel, wird wahrscheinlich in einem anderen Tool stattfinden als im System Modelling Tool. Das ist dann eher ein Mehraufwand, aus dem System Modelling Tool diese Tests extrahieren und

Voraussetzungen und Begleitmassnahmen \ Modellierungswerkzeug und Infrastruktur	
	woanders zu managen. Bei Requirements vielleicht nicht so. Requirements machen wir jetzt direkt im System Modelling Tool. Dort gibt es noch die bestehenden Tools vom Produktmanagement, zu denen ich auch eine Schnittstelle brauche. Aber auch das ist momentan eher ein Mehraufwand, weil wir das Systems Engineering Tool eingebettet haben in eine bestehende Toollandschaft, was ja die Voraussetzung und Vorgabe war, ist eher ein Mehraufwand als Nutzen.
E3.116	Wenn ich mir das heute anschau, dann ist wahrscheinlich der grösste Leidensdruck, der grösste Aufwand, noch im Systems Engineering im Tool.
E3.116	Ich glaube am meisten leiden wir noch mit dem Tool. Das heisst, irgendwie muss das besprochene automatisch ohne Mehraufwand in das Tool schaffen. Ich glaube das pflegen vom Tool ist momentan, wo man am meisten sparen könnte. Zeitaufwand.
E4.48	Das ist bei uns sehr umstritten, wann der richtige Zeitpunkt ist mit einem Modellierungswerkzeug zu starten. Wir haben uns auf eine kleine Gruppe beschränkt, die jetzt mit einem Modellierungswerkzeug einmal Erfahrung sammelt. Der ganze Aspekt mit Modellierungstools ist für viele etwas ganz Neues, das nicht so einfach greifbar ist und am Anfang ist auch die Wirkung von einem Modellierungswerkzeug eher, dass es sehr viel Dokumentation ist und erst wenn man lernt die Diagramme auch zu lesen und das Tool auch richtig anzuwenden, dann kann man einen Mehrwert damit schaffen. Ich glaube, es ist wichtig, dass man am Schluss zu einem Modellierungswerkzeug kommt, ich denke die Einführung ist auch eine sehr grosse Herausforderung.
E4.68	Eine Voraussetzung ist, dass man eine Toolumgebung hat für das Requirements Engineering und die Architektur, die die Versionierung erlaubt und die Zeitpunkte nachvollziehbar sind. Ich glaube erst dann ist eine Messbarkeit möglich. Ausser natürlich die Projektmanagement KPIs, die lassen sich jetzt schon messen.
E5.58	Ich denke, man kann zuerst zwei, drei Dinge auf dem Papier machen. Einfach einmal, um das Verständnis dafür zu kriegen, aber danach geht es sehr, sehr schnell aus meiner Sicht in ein Tool rein, damit man nicht jedes Mal wieder alles umzeichnen muss. Nicht alles von Hand machen muss, was ein Tool erledigen kann. Da könnte man die Hürde nehmen, indem man jemanden mit ins Team nimmt, der die Erfahrung mit einem Tool schon hat. Einen Coach oder sonst jemand, der einmal in der ersten Zeit die Modellierung übernimmt.
E5.59	I: Was würdest du an IT-Infrastruktur für das Tool erwarten? E5: Im ersten Moment noch relativ wenig. Es muss lauffähig sein. Es ist aber auch wichtig, dass eine breite Schar von Mitarbeitern, das Modell anschauen kann. Nicht, dass das irgendwo in einem Topf parkiert ist und niemand, kann es ansehen. Dass viele Leute das Modell anschauen können, ob das ein Export ist oder mit einem Viewer, spielt keine Rolle, aber einfach, dass man zu den Daten rankommt, dass man dann auch wirklich auch mit diesen Fragmenten (Artefakten) arbeiten kann und diskutieren kann. Sonst braucht es aus IT-Sicht noch wenig. Irgendwann braucht es dann Versionierung, usw. Oder auch Automatismen.
E6.52	Das Tool soll das Ganze unterstützen. Tool sind aber heute häufig aus der Software Engineering Disziplin und dann nicht überall so einfach anwendbar. Häufig etwas limitiert im Bereiche Requirements Engineering, Architektur, zum Teil Testmanagement, aber über die ganze Breite von Systems Engineering gibt es kein einziges Tool, das das macht. Die eine Sache ist die Frage, wie man die ganze Toollandschaft aufbaut. Da wurde das Stichwort Medienbrüche genannt. Das heisst, wo nimmt man in Kauf, dass es einen Medienbruch gibt und folglich möglicherweise Handarbeit oder mit entsprechenden Risiken von Fehlern einbaut. Das andere ist, die Leute müssen mit dem Tool arbeiten und wenn die Leute das Tool nicht schätzen, ist es schwierig mit der Einführung.
E6.52	In dem Sinne wäre es gut, wenn man die Mitarbeiter möglichst früh abholt, in der ganzen Toolevaluation um da gewisse Ruhe reinbringen zu könne.
E6.54	Ich denke, man muss die ganze IT-Infrastruktur anschauen, es wir können nicht von einem einzelnen Tool sprechen, wenn wir das gesamte Systems Engineering betrachten.
E6.100	Ich denke, dass sich da auf der Datenseite ein durchgängiges Modell kriegen könnten, wo es von allen beteiligten Rollen benutzt werden könnte. Das sicher Dokumente daraus, nicht nur in SysML, sondern in vielen verschiedenen Sprachen und Darstellungen generieren kann.

Voraussetzungen und Begleitmassnahmen \ Ausbildung und Schulung	
E1.56	Es gehört ja auch die Sprache dazu, das sind so Leute aus der SW, die sind vielleicht schon ein bisschen vertraut mit UML, die kennen gewisse Diagrammtypen bereits. Andere, Mechanik oder Elektroniker, die schon länger in der Firma arbeiten, haben das vielleicht noch nie gesehen. Oder vielleicht noch nicht verinnerlicht, die brauchen eine Einführung in beispielsweise der Sprache.
E1.60	Also ich denke die Leute, die wirklich modellieren, die müssen natürlich ihr Werkzeug verstehen.
E1.64	Jetzt in Hinblick, es braucht Ausbildung, dass die Leute das anwenden können oder benutzen können, aber sonst nichts.
E1.78	Die Leute, die eine treibende Kraft in der Produktentwicklung sind, also die System Architekten, die sollten ziemlich gut geschult werden. Vielleicht auch extern geschult werden. Einerseits was sind die Pfeiler von SE, dass die Grundwerte verinnerlicht sind, dass sie das auch schlüssig in das Projekt tragen können. Leute die nur Wissen erarbeiten mit dem Team, die brauchen natürlich in der Sprache Ausbildung, in den Sozialkompetenzen, wie man das Ganze erarbeitet am Whiteboard, das ist eher die Zusammenarbeit im Team.
E1.80	Das man das extern schulen lässt. Das kommt auf die Menge an. Unsere Projekte sind sehr gross und es wird Bedarf geben, dass ziemlich viele Leute mit dem Modell in Berührung kommen können und da macht ein Ausbildungskonzept sicher Sinn machen. Um zu schauen, wer an welcher Stelle wieviel Ausbildung braucht.
E2.42	Dann natürlich die spezifischen Trainings, wenn sich wirklich um die Anwendung von MBSE geht. Die ganzen Sprachelement, wie wird es eingesetzt. Bis hin natürlich zum "Wie wird eine möglicherweise Software dann eingesetzt", damit sich die Leute wohlfühlen, und diese erste Hürde dann wirklich abbauen können. Das ist aus meiner Sicht für alle diejenigen, die wirklich in einem MSBE Core-Team drin sind und aktiv an diesem Modell arbeiten und auch editieren. Eine zweite Voraussetzung ist, alle diejenigen zu identifizieren, die quasi nicht aktiv daran arbeiten, im Sinne von verändern und modifizieren, aber sehr wohl in der Lage sein sollte diese ganzen Artefakte zu lesen und zu verstehen. Also es braucht aus meiner Sicht zwei verschiedene Ebenen von Trainings und auch in dem Zusammenhang auf der Ebene wo es eben ums das lesen und verstehen der Artefakte geht auch wieder einen gewissen Hintergrund, warum MBSE, warum machen wir das, was ist der Nutzen davon, den wir uns versprechen.
E2.50	Ich würde auf jeden Fall sagen, eine "Hands-On" wie die Methode anzuwenden ist, ist total wichtig, wenn es nur theoretisches Wissen gibt und man dann anhand eines konkreten Projekts daran arbeiten soll, dann ist da immer noch ein gewisse Gap, über den die Leute sehr, sehr ungern springen werden.
E2.54	Bei der Editiergruppe, bei dem MBSE Core-Team, wäre es für mich eine intensivere Schulung im Haus, wo man vielleicht auch wirklich anhand eines bestehenden Produktes, eines Produktes, das alle verstehen und im Kopf haben, gewisse Elemente herausgreifen kann, mit Diagrammen ganz konkret arbeiten kann, wie könnte man das jetzt modellieren. Ich sehe den Vorteil darin, dass dieses technische Domänenwissen dann schon da ist. Die Leute sich nicht irgendetwas abstraktes aus den Fingern saugen müssen, weil das eben das Schulungsbeispiels ist, sondern anhand eines konkreten und für alle gleich aussehenden Produkts, modelliert werden kann. Bei der Viewer-Gruppe, bei der zweiten Gruppe, da würde ich vor allem den Fokus auch darauflegen, wie sind Diagramme zu lesen, wie sind diese Sprachelement zu verstehen. Ich denke, da ist es vielleicht weniger wichtig, an einem konkrete Produkt das aufzuzeigen, das alle kennen, da wäre es vielleicht ganz interessant auch andere Beispiele zu nehmen, die relativ allgemein sein können, die aus anderen Domänen kommen können, aber auch hier hilfreich wäre, vielleicht schon anhand eines konkreten Produkts aufzuzeigen, wie so etwas aussehen könnte. Als Idee, ganz spontan, die erste Editiergruppe könnte ein solches Modell anhand eines Produktes aufstellen, gewisse Diagramme aufstellen und die werden dann der zweiten Gruppe zur Verfügung gestellt und damit sie lesen können und gleiches Verständnis aufbauen können über ein Produkt, das im Hause entwickelt worden ist.
E3.64	Wenn ich nur Systems Engineering anschau, dann ist es wahrscheinlich mit, also dann sind es die drei Bereiche mit SysML der Sprache, der Methode und dem Tool. Das wären die drei Bereiche. Die drei Bereiche sind sicherlich erforderlich, damit ich Systems Engineering ausprobieren oder anwenden kann. Da kann man sich jetzt fragen, ob es noch weiteren Support braucht, eher in den Change-Management Bereichen. Da kann man sich fragen, ob es für die Leute auch Change-Management braucht.

E3.64	Es braucht die Leute die wirklich Systems Engineering ausprobieren, Feedback geben, die müssen die Methode kennen, die Sprache kennen, das Tool kennen. Und es braucht gewisse Leute, die wissen wie kann ich das Einführen in eine Organisation, in bestehende Prozesse.
E4.46	Ich würde sagen, die wichtigsten Elemente sind Training, die Mitarbeiter müssen trainiert werden, das ist auch für die Piloten sehr wichtig, dass die ein generisches Training in Systems Engineering bekommen, damit sie die Grundsätze, die Grundaspekte kennenlernen.
E4.50	Für das modellbasierte oder Tooltraining haben wir ein spezifisches Zweitagetaining aufgesetzt, damit dort ein Training stattfindet. Für das Managementteam auf Abteilungslevel bieten wir auch ein Training an, was es für die Organisation bedeutet. Bezüglich der Rollen, bezüglich der Organisation, was sind dort Aspekte, die dort berücksichtigt werden müssen.
E5.68	Am Anfang braucht es zwei, drei Tage, um die Idee reinzubringen, mit guten Beispielen. Auch noch losgelöst vom Projekt und dass man danach wieder am Projekt arbeiten kann. Dann einen Block Schulung, weiterarbeiten, dass man das so begleiten kann.
E6.56	Es gibt ja inzwischen gute Systems Engineering Ausbildungen. Sonst müsste man schauen, dass die Leute sich an Konferenzen treffen und so Einblick in dies Community kriegen.

Voraussetzungen und Begleitmassnahmen \ Begleitung durch Experten	
E1.26	Also personenbezogene Organisation, das ist wichtig, dass man diesen Prozess begleitet, weil das sind ja neue Formen, wenn man da am Whiteboard etwas erarbeitet, dass man das durch einen Experten begleitet, der auch sehr fundiert Wissen darüber hat, vielleicht auch den Change-Prozess begleitet, im Sinne von, das ist wirklich neu, dass man mit dem ganzen Team da diese Information jetzt aufbereitet und zusammenträgt.
E1.70	Also ich denke, das ist eine sehr gute Option Wissen extern einzuholen, vor allem im Hinblick darauf, dass wenn es jemand anders sagt, dann hat es manchmal mehr Gewicht, wie wenn das Leute aus der eigenen Firma sagen. Das kann doch viel gewichtiger sein, wenn es ein Externer sagt. Das kann Prozess sein, das kann aber auch Tool sein oder auch Sprache. Überall dort wo wir wirklich nicht 100%ig die Experten sind, da lohnt es sich, sicher extern zu gehen.
E2.44	Es ist absolut notwendig Spezialisten von aussen reinzubringen, die auch wirklich diese Kompetenz ausstrahlen.
E2.52	Es ist Praxiswissen. Ich könnte mir auch sehr gut vorstellen, dass man bewusst für die erste Phase einen Coach, falls nicht intern verfügbar, einen externen Coach hinzunimmt, der wenn es um diese ersten Schritte geht oder die ersten Monate wirklich aktiv dabei ist und begleiten kann.
E2.56	Ich würde bewusst auf einen externen Trainer gehen. Einfach deshalb, ich glaube die Kompetenz und die Breite des Wissens ein ganz anderes Level hat, wie wenn man das Training nur mit internen Trainern bestreitet. Wenn einmal ein gewisses Knowhow entwickelt worden ist, in der Organisation, dann kann sich das komplett kehren.
E3.54	In der Startphase denke ich macht es Sinn, von extern irgendwie Beratung einzuholen. Einfach um zu sehen, gewisse Referenzen anzuschauen, wo wurde das schon eingeführt, was würde es bedeuten für uns, einfach einmal so grob abzuklären, was heisst es für uns, ist es passend für uns so die grundsätzliche, von externen Experten sich beraten zu lassen.
E3.74	Schulung für Systems Engineering auf den drei Bereichen Tool, Methode, Sprache. Von Extern. Bei der Schulung, wo ich mir nicht sicher bin. Schulung wird meistens beim Tool zum Beispiel vom Hersteller gemacht, das heisst, das ist ein bisschen eine einseitige Sichtweise. Grundsätzlich. Da ist es vielleicht wertvoll, wenn man neben wirklich Toolhersteller, um den Blick aufzuweiten, sich mit anderen Unternehmen austauscht.
E3.76	Sich nicht wirklich nur auf einen verlassen, sondern vielleicht irgendwie versuchen mehrere, verschiedene Blickwinkel abzuholen. Und das schafft man wahrscheinlich am besten, wenn man mit anderen Unternehmen im gleichen Stadium oder bei der Einführung von Systems Engineering sich austauscht.
E4.50	Wir haben jetzt Coaches, die unsere Piloten direkt bei ihrer Arbeit unterstützen. Also Training on the Job. Weiter haben wir Inhouse Trainings organisiert, wo die Grundlagen gelernt werden.
E5.24	Ich glaube ich würde ein Pilotprojekt herauspicken, das relativ genau abstecken und dann mit einem Coach reinstürzen.

Voraussetzungen und Begleitmassnahmen \ Begleitung durch Experten	
E5.58	Da könnte man die Hürde nehmen, indem man jemanden mit ins Team nimmt, der die Erfahrung mit einem Tool schon hat. Einen Coach oder sonst jemand, der einmal in der ersten Zeit die Modellierung übernimmt.
E5.66	Ja oder einfach begleiten, damit der Coach das entsprechend abfangen kann. Der sollte die Erfahrung haben, dass das zum Thema wird und dass er dann auch durch den Prozess führen kann und hin und wieder eine Session macht, dass man dies definiert, auf die Seite legt, "Dies ist jetzt unser Use Case", "So machen wir das", "So ist es gültig".
E5.69	I: Und die Schulung würdest du durch Externe oder über Coaches machen? E5: Ja unbedingt. Es sein denn, jemand Internes hätte schon die ganze Erfahrung, so dass er als Coach wirken kann, aber das kann und soll man einkaufen. Man muss ja nicht das Rad neu erfinden.
E6.58	Ich glaube viele von diesen Beratern sind ihr Geld nicht wirklich wert. Den Hauptnutzen liefert so ein Berater, dann wenn es einen Buhmann braucht, der besser extern ist, damit man sagen kann, "Der ist schuld" und nicht einem internen anhängen muss. Ich würde eher auf eigene Kräfte vertrauen.

Voraussetzungen und Begleitmassnahmen \ Information über die Einführung an die Betroffenen	
E1.56	Ich denke, dass es eine Kommunikation an alle braucht, die jetzt irgendwie mit Systems Engineering betroffen sind, das sind die Stakeholder, das sind aber auch das gesamte Projektteam, was ist SE überhaupt. Das sind die Prozesse, die Tools und das sind die Inhalte, die generiert werden. Die einzelnen Deliverables die da erstellt werden. Das braucht sicher eine Information, was man da machen will. Und je nach Tiefe bei den Entwicklern, dass man da genauer erklärt, was man genau will von den Personen.
E1.58	Ich würde jetzt die Leute immer informieren, bevor man startet.
E1.66	Ich denke, sinnvoll ist sicher, wenn man am Anfang den Prozess einmal erklärt. Was ist SE, wie wollen wir das machen. Dass man die Artefakte kurz erklärt. Was soll überhaupt entstehen und dann sozusagen, das Big Picture erschafft für "Wie entsteht das", aber auch für was wollen wir das nutzen. Wie wollen wir das genau machen. Darum gibt es auch diese Pilotprojekte, die das jetzt Schritt für Schritt erarbeiten sollen, also wie man das macht.
E1.116	Ich hätte gesagt, Information verteilen. Die Leute müssen warm werden mit dem Thema, vielleicht Top-Down, und dann sie wirklich mitnehmen ans Whiteboard und mit ihnen zusammen das erarbeiten.
E2.40	Natürlich nicht nur auf Managementebene, sondern auch auf Teamebene, auf Softwareteamebene, auf Hardwareteamebene, die Leute versuchen ins Boot zu holen und ihnen den Nutzen klar zu machen, den MBSE bringen kann und bringen soll.
E2.40	Und auch wahrscheinlich, wie in den meisten Fällen, das Big-Picture aufzuzeigen, was sehen wir langfristig für Möglichkeiten, wo haben wir in der Vergangenheit Probleme gehabt und wie denken wir, dass wir das mit MBSE in Zukunft besser lösen können.
E4.36	Ich glaube es gibt, wie man aus dem Systems Engineering kennt, ganz viel Stakeholders, die gewisse Interessen verfolgen. Wir berücksichtigen jetzt die anderen Bereiche, die ausserhalb direkter Innovation sind, da organisieren wir Organisationsveranstaltungen. Als ersten Schritt, damit wir überhaupt transparent sind, was wir am Machen sind. Was wir planen.
E4.44	Die Einführung ist so aufgebaut, wir haben jeden Monat ein Coaching vor Ort und jeden Morgen haben wir bei diesen Coaching-Wochen haben wir ein Daily Standup. Dort sind sehr viele Abteilungsleiter eingeladen, damit sie auch den Fortschritt mitverfolgen können.
E4.46	Als weitere Voraussetzung ist auch, dass man sehr bewusst das Management und die Mitarbeiter immer up to date hält.
E5.46	Ich denke vor allem am Anfang Widerstände, auch die man irgendwie mitnehmen muss. Das vor allem mit Information gelöst werden kann. Dass man die Leute früh informiert und auch zwischendurch über den Stand der Arbeiten, auch Input einholt, sind schlussendlich dann auch alles wieder Stakeholder, die etwas beitragen möchten, sollen, müssen.
E5.54	Dass man diese Leute frühzeitig einbindet. Oder diese Gruppen frühzeitig einbindet und ihre Bedürfnisse entsprechend auch wahrnimmt und sie einbringen lässt. Oder an Entscheidungen teilhaben lässt.
E5.56	Es muss auch offen informiert werden, was das Vorhaben ist.

Voraussetzungen und Begleitmassnahmen \ Information über die Einführung an die Betroffenen	
E5.90	Information quer durch die Firma und Ressourcen bereitgestellt werden müssen. Weiter noch, die Bereitschaft des Managements.

Voraussetzungen und Begleitmassnahmen \ Stakeholdermanagement	
E1.48	Also ich denke das fängt an bei den Verantwortlichen für die Produkte, also diejenigen die die Entwicklung in Auftrag geben. Die haben sicher grosses Interesse, dass ihr Produkt zur richtigen Zeit verfügbar sein wird, mit den Anforderungen, die sie stellen. Wie das jetzt durchgeführt wird, also SE. Auf der anderen Seite aber auch alle die irgendwie mit dem Kontext des Produkts zu tun haben, weil die bilden sozusagen die Interfaces zu ... oder zu der Entwicklung, die jetzt anfängt mit SE oder modelbasiertem Systems Engineering das im Prozess zu organisieren. Sie werden wie ein Teil. Beispielsweise Produktion, mit was für Tools und Jigs arbeiten die, was haben wir hier für Interfaces. Dort haben wir sehr starke Schnittstellen. Die wir von uns aus systematisch beschreiben versuchen und sie sozusagen die Gegenseite realisieren müssen.
E1.48	Service dasselbe, auch externe Partner vielleicht, die man integriert in die Produkteentwicklung. Also die werden das bestimmt merken, dass wir da sehr strukturiert an einem Prozess daran sind und Beschreibungen erstellen. I: Also das heisst, die müsste man irgendwie mit einbinden. Mindestens informieren oder so. E1: Also die müssten sicher informiert werden. Ja genau.
E2.34	In der Entwicklung hätte ich das Gefühl, müssten eigentlich die Stakeholder dementsprechend informiert sein und über die Vorteile, die MBSE oder erhofften Resultate und den Nutzen von MBSE Bescheid wissen. Wo sehe ich die Grenzen, quasi die Stakeholder in der zweiten Reihe, die sehe ich persönlich eigentlich relativ weit draussen. Bei mir wäre die Grenze irgendwo im Prozessengineering. Möglicherweise in Richtung Assembly-Software. Und je nachdem wie stark das Produktmanagement involviert ist in Richtung Produktmanagement
E3.44	Natürlich ist Systems Engineering, so wie unsere Organisation aufgebaut ein R&D lastiger Prozess, R&D- und produktmanagementlastiger Prozess oder Methode und wird vor allem in dem Bereich R&D und Produktmanagement eingesetzt. Man muss sich überlegen, wie die anderen Bereiche, die auch in die Produktentwicklung involviert sind, Operations, Service, usw. mit beeinflusst.
E3.48	Ich denke gerade Produktion schon noch, also sie sind ja in der Produktentwicklung nach dem Innovationsprozess, sind die ja natürlich involviert. Momentan aber im Systems Engineering Prozess, so wie wir ihn jetzt versuchen einzuführen, also in den Diskussionen von Requirements, Use Cases und so weiter, sind die nicht tief involviert momentan. Das könnte ich mir schon noch vorstellen, dass wir das vielleicht noch ändern müssen.
E3.48	Auch Service vielleicht. Produktion, Service. Qualität wahrscheinlich eher nicht. Grundsätzlich, was haben wir ja auch vorgesehen, grundsätzlich ist es schon so, dass diese Disziplinen alle, also Operations mit QE und Produktion, Service, die können alle Requirements liefern. Aber das ist momentan die einzige Schnittstelle, die wir haben zu ihnen, im Systems Engineering. Ich glaube das könnte sein, dass wir die noch tiefer einbeziehen müssen, damit sich auch die abgeholt fühlen vom Systems Engineering.
E5.48	Das PM (Produkt Management), die sind früh mit dabei, aber auch die Produktion... dass diese Anforderungen nicht verloren gehen.
E6.40	Ich glaube das ist ein wesentlicher Aspekt auch von Systems Engineering, dass eben auch die Leute betrachtet werden, die da mitwirken. Letztendlich sind das häufig auch ein Stück weit Komplexitätstreiber, des ganzen Projektes. Wenn man startet, sollte man Trittsteine schaffen in den anderen Abteilungen, die sehen, "Ah, das ist eine gute Sache". So kann man das immer weiter ausweiten. Trittsteine und Brückenkopf usw. bis das eigentlich flächig akzeptiert ist, dass das eine gute Sache ist so vorzugehen.
E6.46	Nicht wirklich betroffen sind Leute, die Firmeninfrastruktur bauen oder betreiben. So das ganze Rechnungswesen, Controlling, ähnliche Dinge. Andere Leute sind vielleicht nicht offensichtlich betroffen. Ich denke so an Verkauf oder so, aber da ist dann das Problem, dass man Verständnis schafft, und sagt, man muss gewisse Dinge wissen, um weiterfahren zu

Voraussetzungen und Begleitmassnahmen \ Stakeholdermanagement	
	können. Man muss probieren zu verstehen, wie sie arbeiten oder was ihr Problem ist oder was da genau abläuft.

Voraussetzungen und Begleitmassnahmen \ Einführungsteam - Offenheit gegenüber neuen Ansätzen	
E2.74	Und der dritte Punkt ist das Team, das Pilotprojektteam, ... am idealsten, quasi emotional zu berühren, damit sie wirklich verstehen und auch die Motivation dafür entwickeln, warum wollen wir MBSE in diesem Projekt einführen. Was erhoffen wir uns, woran wollen wir nicht leiden, an dem wir in der Vergangenheit gelitten haben.
E3.54	Dann wahrscheinlich macht Sinn und das hat man bei uns auch so gemacht, irgendwie motivierte Leute zu finden, die auch bereit sind irgendwas Neues auszuprobieren. Und mit denen zusammen, so ein Versuch zu machen. Irgendeine Art Versuch, irgendeine Art Projekt. Zum Beispiel wie Projekt X bei uns (Anmerkung: Projekt X war ein Proof-of-Concept Projekt). Ein Proof-Of-Concept Projekt, noch nicht produktiv, zum Ausprobieren und dann die Erfahrungen dort abzuholen. Dann im nächsten Schritt, wenn das erfolgreich ist, das Proof-of-Concept, dann im nächsten Schritt würde es schon Sinn machen, dann das mit einem wiederum motivierten und versuchsfreudigen Team auch produktiv auszuprobieren.
E3.56	Brauchen tut es immer für das Proof-of-Concept und auch für die produktive Pilotprojekt immer motivierte Leute, die das wirklich ausprobieren möchten.
E3.60	Ich glaube die Leute müssen bestimmte Voraussetzungen erfüllen, damit das funktioniert. Die müssen offen sein für so was Neues. Und natürlich hilft es, wenn da Leute dabei sind, die auch schon Erfahrung mit Systems Engineering haben.
E3.112	Dann Leute auszuwählen, die das wirklich ausprobieren möchten, die offen sind für Neues. Management Support, das richtige Team.
E6.56	Man muss intrinsisch motivierte Leute suchen, die man von dieser Idee überzeugen kann. Idealerweise kriegt man eine hinreichende Anzahl von Leuten zusammen, die man dann explizit schulen kann.

Anhang F.3 Widerstände

Widerstände	
E1.24	Oder sich Widerstände bilden könnten vom Team, das jetzt das Fass der Pandora geöffnet wird und jetzt im Modell vom 100ersten ins 1000sendste gehen will und das nicht zielführend sein könnte.
E2.20	Ich denke MBSE ist grundsätzlich einen neue Methodik oder einen neue Disziplin für unsere Organisation und wie auch bei allen anderen Methodiken oder Prozessen, die in eine Organisation hineinkommen, gibt es einfach Widerstände, weil es neu ist, weil alte Gewohnheiten aufgebrochen werden müssen und es da natürlich Personen gibt innerhalb der Organisation, die möglicherweise ein Einfluss an Macht verlieren werden. Also für mich ist es eine typische Situation, die jedes grössere Changemanagement-Projekt mit sich bringt.
E2.38	Wahrscheinlich werden sich die Widerstände ziemlich stark auf der menschlichen Ebene, auf der Zusammenarbeitsebene zeigen. Es ist natürlich ziemlich sicher eine gewisse Hürde, oder es ist immer eine gewisse Hürde, ein neues Tool einzuführen, eine neue Arbeitsweise einzuführen. Widerstände sehe ich weniger bei denen, die man quasi auswählt wirklich in einem gewissen Core-Team am Systems Engineering mitzuarbeiten, sondern dort wir die Schnittstelle zwischen diesem Core-Team und dem Rest des Projektes steht.
E2.44	Was ich mir vorstellen könnte ist, um die Offenheit der Organisation demgegenüber zu schärfen ist vielleicht mit Projekten, mit Problemstellungen der Vergangenheit zu kommen und sich zu überlegen, wie hätte man das mit MSBE anders lösen können. Der Hintergrund der Überlegung ist, die Leute haben in diesen Projekten mitgearbeitet, sie leiden möglicherweise an den Nachfolgen dieser Projekte, weil sie irgendwo im Lifecycle irgendetwas ausbaden müssen. Da könnte man möglicherweise sehr schön mit MBSE zeigen, wie hätte man das vielleicht verhindern können oder zumindest den Schmerz verringern können.
E2.48	Und dann geht es wirklich auch darum, die zu schulen, wie das angewandt werden kann. Die Hemmschwelle, die Hürde weg zu nehmen.

Widerstände	
E3.46	Natürlich gibt es wahrscheinlich Personen, denen das eher liegt, so Systems Engineering zu machen, als anderen Personen. Aber grundsätzlich glaube ich, dass ... sehe ich nicht so ein Problem. Auch kulturell passt glaube ich passt das, also mindestens. Unsere Kultur, unsere Unternehmenskultur denke ich, da passt Systems Engineering recht gut rein. Ich habe das Gefühl, die Leute begrüßen das sehr, den Ansatz, dass wir den einführen. Der grösste Teil der Leute.
E3.104	Es wird in der Organisation, weil es ja Verschiebung von Verantwortlichkeiten und es Änderungen an den Rollen gibt, wird es ja irgendwelche Widerstände geben, von der Organisationseite.
E5.27	I: Erwartest du Widerstand beim Management? E5: Erwarten nicht, aber hin und wieder findet der statt. I: Wie äussert sich der? E5: Aktuell denke ich, bei der Einführung eines Tools, dass man da den Nutzen noch nicht sieht oder irgendwelche Ängste vorhanden sind.
E5.52	Wahrscheinlich am ehesten dort, wo man Designentscheidungen vorwegnimmt, durch die Architektur oder auch neue Architekturen reinbringt, neue Überlegungen reinbringt. Wo man alte Zöpfe abschneidet. Allenfalls auch dort wie gewisse Sachen harmonisiert werden, wie Schnittstellen, die je nachdem in einem Bereich so gelöst wurden und im anderen Bereich anders. Das man die harmonisiert.
E6.48	Wahrscheinlich Unverständnis. Das heisst, man muss bei der Kommunikation schauen, dass es anwendergerecht ist und nicht zu kompliziert, sonst überfährt man die Leute. Ich kann mir vorstellen, dass aufgrund vom Unverständnis dann mögliche Finanzierungsprobleme oder solche Dinge entstehen könnten.

Widerstände \ Widerstände durch befürchteten Verlust von Status und Verantwortung	
E1.38	Dort sehe ich schon die kritischen Grössen, die da sein könnten, dass gewisses Wissen, das vielleicht Spezialitätenwissen ist, der Ingenieure, jetzt transparent erfasst werden und abgelegt werden. Also es könnte durchaus sein, dass ein gewisse Expertenstatus vielleicht weniger wird, von den Ingenieuren oder auch vom Produkt her
E2.20	gibt es einfach Widerstände, weil es neu ist, weil alte Gewohnheiten aufgebrochen werden müssen und es da natürlich Personen gibt innerhalb der Organisation, die möglicherweise ein Einfluss an Macht verlieren werden.
E2.38	Aber grundsätzlich sehe ich persönlich eher dort wo sich diese Rollen verschieben, auch die entsprechenden Spannungen.
E3.36	Was immer etwas heikel ist, wenn sich die Rollen und Verantwortungen ändern. Einführung von System Engineers in unserer Organisation, vielleicht irgendwie in Konflikt steht mit dem was bisher TPLs (Anmerkung. TPL = Technischer Projektleiter) gemacht haben. Das vielleicht, Systems Engineering das bisher bei uns nicht als Disziplin bekannt ist, als neue Disziplin mit recht viel technischer Verantwortung, diese Verantwortung wird dann den TPLs oder den Disziplinen weggenommen. Das könnte Widerstand verursachen.
E3.52	Eben Disziplinen denke ich grundsätzlich, dass man halt, wenn man jetzt wirklich eine Systems Engineering Disziplin machen würde, dass Verantwortung von den klassischen Disziplinen weggenommen wird. Da könnte mir vorstellen, dass es gewisse Konflikte gibt.
E4.40	Und die andere Veränderung ist auch ein bewusstes Ziel von uns, dass wir das Wissen besser verbreiten können in der Organisation und das wird sicher für Leute, die gerne Wissen für sich behalten oder nicht unbedingt gerne teilen, wird das ein wichtiger Aspekt sein, dass sie sich auch dort ändern müssen und Wissen zur Verfügung stellen müssen.
E6.44	Im mittleren Management, die sind so im Sandwich dazwischen oder manchmal wird es beschrieben als, das sind die Leute, die ihre eigene Karriere noch am Bauen sind, und die haben manchmal auch etwas zu verlieren oder abzugeben, weil die Einführung von Systems Engineering verlagert Kompetenzen zum Teil und dadurch gibt es da Reibungen.

Widerstände \ Widerstände vom Management	
E1.23	<p>: OK. Erwartest du Widerstände vom Management, respektive wo können sich Widerstände ergeben?</p> <p>E1: Bei uns erwarte ich bezüglich des Erfassens, welches man modellbasiert SE machen will, wenig Widerstände. Weil das System kompliziert geworden ist.</p>
E1.24	<p>Wo Widerstände vielleicht zu erwarten sind, ist wenn der Initialaufwand irgendwelche Projektlaufzeiten dramatisch beeinflussen würde.</p>
E3.36	<p>Ich glaube schon, dass im Systems Engineering grundsätzlich die Idee ist, dass das Team mehr entscheiden kann, auch technische mehr entscheiden kann, und das könnte möglicherweise vom Management, könnte schwierig sein fürs Management, weil bisher, bei uns mindestens, oft noch Management involviert war in technische Entscheide auch. Und in Systems Engineering die Idee, dass das Team mit dem Systems Engineer solche Entscheide trifft.</p>

Widerstände \ Widerstände durch bestehende Prozesse	
E1.44	<p>Wir sind ja sehr stark nach dem Innovationsprozess organisiert und unser Innovations Process an sich bringt schon ein gewisses SE-Vorgehen mit sich, dass man sich in einer ersten Phase über die Produktklärung Gedanken macht, Requirements Engineering Gedanken macht, über die Meilensteine, zuerst ein Konzept schreibt und dann erst in die Realisierung geht. Da haben wir einen gewissen Spielraum. Ich hätte jetzt gesagt, dass wir in einem ersten Schritt, diesen Spielraum von unseren bestehenden Prozessen nutzen, was für Möglichkeiten wir dort haben und jetzt nicht spezifisch oder sehe ich nicht spezifisch Einfluss, dass unsere bestehenden Prozesse die Einführung von SE stören.</p>
E2.30	<p>Ich denke eher nicht, dass es auf den klassischen Stage-Gate-Prozess, welchen wir haben, einen direkten Einfluss hat.</p>
E3.44	<p>Andere Prozesse. Und natürlich kann man sich, bei uns irgendwelche Change-Prozesse, ECM (Engineering-Change-Management), hat immer eine Änderung vom System zu Folge, wie man das ins Systems Engineering integriert. Haben wir uns jetzt noch nicht überlegt, aber ja.</p>

Widerstände \ Widerstände durch Änderungen von gewohnten Arbeitsweisen	
E2.38	<p>Beispielsweise in der Softwareentwicklung ist man gewohnt, irgendwie über Requirements, irgendwelche Epics und User Stories abzuleiten. Wenn jetzt Systems Engineering daherkommt, dann ändern sich diese Schnittstellen und diese gewohnten Abläufe. Und ich könnte mir sehr gut vorstellen, dass es da gewisse Spannungen gibt, zwischen einem Systems Engineering Core-Team und dem restlichen Softwareentwicklungsteam oder Hardwareentwicklungsteam, eben weil sich diese Schnittstellen ändern.</p>
E3.38	<p>Ich glaube es gibt schon Konfliktpotenzial, dadurch dass bisher ja bei uns der technische Projektleiter auch verantwortlich war für, nicht nur für Zeit und Kosten, sondern auch für technische Entscheide. Und wenn man praktisch dem TPL jetzt noch einen Architekten zur Seite stellt und sogar noch ein System Architekt da ist, der dann auch in die Disziplinenterscheide mitsprechen kann oder soll, das hat schon Konfliktpotenzial.</p>

Anhang F.4 Expertenwissen zur Anwendung von MBSE

Expertenwissen zur Anwendung von MBSE \ Experten aufbauen	
E1.67	<p>I: Das heisst, das Wissen ist schon zum Teil im Unternehmen vorhanden, so dass man das machen kann.</p> <p>E1: Oder es wird schrittweise erarbeitet. Zusammen mit dem Team.</p>
E1.76	<p>Ich denke in der Tiefe brauchen wir das Expertenwissen, um die Information zusammenzutragen und dass wir ein Team formen, das einerseits Informationen sammelt und dann anschliessend für das Produkt nutzt.</p>
E1.78	<p>Die Leute, die eine treibende Kraft in der Produktentwicklung sind, also die System Architekten, die sollten ziemlich gut geschult werden. Vielleicht auch extern geschult werden.</p>

Expertenwissen zur Anwendung von MBSE \ Experten aufbauen	
	Einerseits was sind die Pfeiler von SE, dass die Grundwerte verinnerlicht sind, dass sie das auch schlüssig in das Projekt tragen können.
E2.42	Grundvoraussetzungen sind natürlich, ein gewisses Basiswissen über MBSE, auch ein gewisses theoretisches Wissen und Verständnis warum MBSE und warum nicht etwas anderes.
E2.48	Welches Wissen wird gebraucht! Ja wie gesagt, gewisses theoretisches Wissen, was versteht man unter Systemen, ganz grundsätzlich, wie kann man solche Systeme überhaupt modellieren. Weil das ist ja teilweise sehr abstrakt. Man muss ein gewisses Wissen über das, die ganzen Sprachkonzepte reinbringen. Es ist auch von Vorteil, wenn man weiss, welche Teile will man wie modellieren und bis zu welchem Detaillierungsgrad will man das ganze modellieren und das auch dementsprechend ganz spezifisch zu schulen und den Rest möglicherweise einmal aussen vor lassen.
E2.56	Wenn einmal ein gewisses Knowhow entwickelt worden ist, in der Organisation, dann kann sich das komplett kehren. Dann kann es wirklich so sein, dass starke interne Leute, die eigenen Leute weiter trainieren, aber zu einem Start zur Einführung würde ich bewusst auf einen externen Trainer setzen und vielleicht dann im Zuge dessen auch ein Train-the-Trainer-Konzept andenken, dass sich dann über die Zeit der Wechsel von Extern auf Intern verlagert.
E3.26	Ja für mich ein sehr neues Feld und ich denke auch für die ganze Industrie ein neues Feld. Noch recht viel im Umbruch. Noch etwas wacklige Tools, verschieden Methoden, noch nicht so viel Standardisiert. Aber sehr mächtig.
E4.46	Dann weiter braucht es Leute die effektiv dann auch den neuen Prozess und die neuen Methoden definieren. Das ist die grösste Herausforderung, dass man die Leute in der Organisation findet, damit die Leute auch Zeit haben diese Aufgabe wahrzunehmen und wirklich Zeit bekommen, neben dem Daily Business das zu machen.
E4.51	I: Macht ihr interne Trainings auch? Also von internen Leuten die eigenen Leute trainieren? E4: Noch nicht, aber das ist das ultimative Ziel, dass wir jetzt externen Coaches haben, die die Einführung unterstützen, aber diese Experten-Coaches sollen dann durch Interne unterstützt werden, damit wenn wir den grösseren Rollout machen, damit die internen Coaches dann übernehmen und die Externen dann wieder verschwinden.
E5.64	Da ist auch wichtig, dass man das dann auch relativ schnell auch dokumentiert. Auf welche Methodik man sich geeinigt hat, auch welches Wording verwendet wird. Dass möglichst schnell jeder dasselbe unter demselben Stichwort versteht. Da sollte man auch nicht viel Neues erfinden, wo nötig schon Anpassungen machen, aber das mit Bedacht.
E6.50	Da muss der Boden etwas bereitet sein, im Sinne dieser Trittsteine oder Brückenköpfe, da muss eine kritische Menge von Leuten vorausgebildet sein. Damit die dann als Evangelisten oder Promotoren unterwegs sind, um das in die Firma reinzutragen.
E6.62	Es ist systemisches Denken, ist extrem wichtig. Dann die Fähigkeit von Abstraktion, dass man in die Lage kommt, Sachverhalten von verschiedenen Blickwinkeln sich vorzustellen. Und dann ist Kommunikation und Kommunikationstechnik, Umgang mit den Menschen sehr wichtig.
E6.64	Das heisst, man muss den Leuten zeigen, was ist konkret an dem Produkt wo man arbeitet der Lebenszyklus, um was handelt es sich überhaupt. Dann ist der Punkt, dass man zeigen muss, dass eben nicht Einzelpersonen damit arbeiten, sondern viele und folglich muss man irgendwelche Kommunikation aufbauen können, um zu erklären man braucht eben all die verschiedenen Dokumente, man muss Anforderungen festhalten, man muss Architektur dokumentieren, man muss Prüfergebnisse festhalten, die dann eben später oder bei einem neuen Produktzyklus wieder verwendet werden. Da baut man für die Zukunft und nicht einfach nur weil es in einer Prozessbeschreibung so steht. Es Konzept müsste in dieser Richtung aufgebaut sein. Das heisst Lebenszyklus erkennen und sehen, was für Tätigkeiten sind nötig, und wie die ineinandergreifen.

Expertenwissen zur Anwendung von MBSE \ Lernen aus der Anwendung	
E1.66	Also wie wollen wir beispielsweise unsere Konzepte in Zukunft erstellen. Da stehen wir vielleicht noch am Anfang, da müssen wir vielleicht noch selbst lernen, wie wir das machen wollen. Wie wollen wir beispielsweise solche Modelle reviewen. Wie wollen wir das festhalten, dass es in unsere Organisation passt mit den Meilensteinen, die ein Review

Expertenwissen zur Anwendung von MBSE \ Lernen aus der Anwendung	
	verlangen, beispielsweise von einem Konzept. Oder von einem getesteten Produkt, bevor man in die Produktionsphase geht.
E1.116	Und der dritte Punkt ist, dass man permanent schaut, dass das was man macht, vor allem in der Tiefe wie man es macht, immer einen Wert generiert. Für das Unternehmen, wie wir zusammenarbeiten, aber auch für das Produkt. Dass man die Flughöhe richtig wählt. Dass man nicht zu tief geht in der Ingenieursdisziplin und jetzt probiert das Supermodell zu bauen.
E3.56	mindestens ein produktives Projekt und dann auch immer die Erfahrung dann abzuholen.
E4.30	Es besteht die Gefahr, dass wenn man zu viel Systems Engineering betreibt, dass die Kosten wieder steigen und die Effizienz wieder leidet. Am Anfang hat man sicher einen sehr guten Return of Investment, wenn man der Methodik startet. Ich denke diese Balance zu finden ist eine grosse Herausforderung und da ist auch zurecht, dass Management muss unterstützen, damit die richtige Balance gefunden wird.
E5.62	Coaching und Schulung. Und dann etwas Umsetzen und daraus lernen. Dass man wirklich daran arbeitet und entsprechend mit Feedback-Loops arbeitet.
E5.66	Und wenn man später sieht, dass es eine Anpassung braucht, dann soll man das auch machen. Das muss noch nicht in Stein gemeisselt werden, so hat man später auch eine gute Vorlage für die weitere Einführung. Oder das breitere ausrollen im Betrieb.

Anhang F.5 Nutzen von MBSE

Nutzen von SE und MBSE \ Gesamtheitliche Systemsicht und Verständnis	
E1.82	Einerseits im Produkt, wie es entsteht, andererseits aber in der täglichen Arbeit, dass man weiss wo die Information abgelegt ist, dass man Zusammenhänge besser erkennen kann. Das ist der Nutzen sozusagen für unsere Ingenieure.
E2.30	Vor allem, weil ich die Stärke von Systems Engineering darin sehe, dass System als Ganzes anzusehen
E2.60	Der zweite Punkt, den ich mir als Nutzen vorstellen kann, wenn ich dann später im Lifecycle drinnen, wenn möglicherweise die Experten aus den Projekten schon raus sind und sich um andere Dinge kümmern, dokumentiert habe, wie das System aufgebaut ist und wie es zusammenhängt. Das kommt jetzt natürlich sehr stark darauf an, bis zu welchem Detaillierungsgrad MBSE implementiert worden ist dem Projekt. Trotzdem zeigt es wahrscheinlich sehr schön, wo sind die Schnittstellen, wo werden welche Daten übermittelt, wo habe ich Abhängigkeiten und auch da als Beispiel in grösseren Projekten mit komplexen Produkten, sind diese Abhängigkeiten nicht mehr einfach von irgendwelchen Entwicklern zu entdecken, eben aufgrund der Komplexität, diese engen Zusammenspiels von Sensoren und Software und Workflows.
E2.60	Nutzen, möglicher dritte Punkt für mich ist, dass das saubere Mapping von Anforderungen von Requirements, die Übersetzung in eine funktionale Architektur, die verschiedensten Schritte, wie das designed und von der Architektur aufgebaut wird und schlussendlich, dann auch wie werden diese Requirements getestet und verifiziert. Dieser Zusammenhang lässt sich möglicherweise mit einem MBSE Tool viel plastischer und logischer abdecken, als mit einem typischen Tool, wo wir Requirements dann irgendwie mit Tests zusammenlinken.
E2.64	Allerdings (denkt nach), haben visuell dokumentierte System schon einen Vorteil, dass sie wesentlich leichter verständlich sind, als lange Abhandlungen in Konzepten und von dem her auch hier sehe ich eher eine gesteigerte Effizienz, wenn es darum geht System zu verstehen, Zusammenhänge zu verstehen, einfach diese Diagramme viel mehr Aussagekraft habe, als seitenweise Dokumentation.
E2.70	Die Rollen werden sich eher verschieben, wenn es um MBSE geht und was den Nutzen angeht, würde ich mir erhoffen, dass durch MBSE das Verständnis für das System und die Architektur auf viel mehr verschiedene Schultern verteilt werden kann.
E2.72	Wo man zuerst lange diskutiert hat, lange über Konzepten gesessen ist und darüber geredet hat und erst als ganz klar mit einfachen Linien und Relationen zwischen Komponenten innerhalb eines Systems dann klar geworden ist, wie Information überhaupt fliesst, wo Schnittstellen überhaupt sind, wer für welche Komponenten verantwortlich ist. Erst da ist dann der Groschen gefallen und die Gruppe hat es geschafft, ein wirklich gemeinsames Verständnis für das System zu entwickeln. Und somit auch architektonisch und gute Entscheidungen zu treffen und wirklich vorwärts zu kommen.

Nutzen von SE und MBSE \ Gesamtheitliche Systemsicht und Verständnis	
E3.66	Ich denke schon, dass das Modell an sich einen grossen Mehrwert generiert im Systems Engineering. Also nur Methode und Sprache, Methode und Sprache helfen in dem Moment, indem ich das Ganze, die Anforderungen, die Use Cases diskutiere und Verständnis schaffe dafür. Dort würde das auch ausreichen, da brauche ich das Tool nicht. Das Tool sehe ich eher wichtig dafür, dass ich das dann auch dokumentiert habe, dass jeder das auch nachschauen kann, dass jeder nachschlagen kann. Und dokumentiert habe in einer Art und Weise, dass ich es auch nachführen kann, wenn es Änderungen gibt.
E3.78	Ich denke in der Diskussion von Requirements, Use Cases, also alles was ich praktisch vom Kunden, in unserem Fall vom PM (Produkt Manager) bekomme, Anforderungen an das System, Use Cases, das ich die mit dem Team, mit den Leute die es dann betrifft, mit den Leuten die das dann umsetzen oder in der Entwicklung erfüllen müssen, dass ich die mit dem Team diskutiere. Und soweit Verständnis schaffe, im Team, ich glaube das führt ich schlussendlich das, für die Anforderungen besser geeignetes System bauen kann, als wie, wenn ich diese Requirements nicht hinterfrage, nicht gross diskutiere. Ich glaube diese Sessions an einem Whiteboard oder Flip-Chart, wie auch immer, an dem ich wirklich mir Gedanken über Requirements, Use Cases mache, ich glaube die helfen dadurch, dass das Verständnis geschaffen wird für diese Anforderungen, ein besseres System zu entwickeln.
E3.110	Also ich weiss selbst, aus den Pilotprojekten weiss ich, dass diese Diskussionen, die jetzt bereits stattfinden in den Pilotprojekten, Use Cases, Use Case Aktivitäten diskutieren, Anforderungen zu den Use Cases diskutieren. Die helfen den Teammitgliedern das System zu verstehen.
E3.114	Der wichtigste Nutzen. In der Art und Weise wie wir jetzt Systems Engineering betreiben, denke ich, dass der Hauptnutzen wirklich darin besteht, dass das ganze Team ein einheitliches Verständnis von den Systemanforderungen erhält, erarbeitet.
E4.22	Der Schritt mit der graphischen Station, ist für mich der entscheidende Schritt zwischen SE und MBSE. Dort macht man den grössten Sprung und holt den grössten Benefit raus. Vor allem in der Effektivität. Der Tooleinsatz ist vor allem für mich die Effizienzsteigerung.
E4.54	Mit Systems Engineering grundsätzlich eben "Manage the Complexity" ist eines der Wichtigsten. Unsere Produkte sind durch die Digitalisierung komplexer geworden und das müssen wir besser managen.
E4.84	Ja, insbesondere die Darstellung der Architektur, das extrem viel gebracht, damit man schnell den Stakeholder erklären konnte, wie die Architektur aussieht. Auch für das Onboarding von neuen Teammitgliedern, ist die Zeit viel kürzer, weil sie viel schneller verstehen, wie die Zusammenhänge sind. Und bei den Piloten sind die Use Cases auf dem höchsten Systemlevel, die bringe extrem viel bei der Diskussion mit Stakeholdern.
E4.87	I: Wenn du einen Nutzen nennen müsstest, welcher wäre der wichtigste, um zu sagen, genau darum machen wir Systems Engineering? E4: Ich schwanke zwischen "Manage Complexity" und "Das richtige Produkt zu entwickeln". Es sind die beiden.
E5.16	Weil man ein sehr gutes Mittel hat, um früh über Systeme, deren Architektur, deren Requirements, sich auszutauschen, sich abzugleichen oder auch dem Management zeigen kann, wie das System gebaut werden soll. Bevor irgendwelche Hardware gebaut wird, bevor Software geschrieben wird. Einfach einmal zu zeigen, wie das System aussehen wird, aufgrund der jetzigen Annahmen und Vorgaben und so kann das System dann meistens weiter verfeinert und präzisiert werden.
E5.88	Im letzten Projekt, als wir die Architektur wirklich aufgezeichnet haben, auch mehr oder weniger komplette Kontextdiagramme gezeichnet haben, und somit die Komplexität des Projektes anschaulich zeigen konnten. Und auch schon in den frühen Stadien, die Anforderungen kompletter waren, wie auch schon. Auch wenn vieles noch implizit geblieben ist, aber das Bild der Anforderungen wurde sehr schnell klar.
E6.66	Der Nutzen ist ein besseres Verständnis vom Problem und ein besseres Verständnis vom System, das man entwickelt. Dadurch lassen sich Probleme, Herausforderungen früher erkennen und folglich mit weniger Aufwand behandeln.

Nutzen von SE und MBSE \ Wissen zentral und wiederverwendbar verwalten	
E1.36	Also ich denke, wenn man SE so einführt, dann ist ein Hauptnutzen, dass Information über ein Produkt zentral erfasst wird und gespeichert wird.

Nutzen von SE und MBSE \ Wissen zentral und wiederverwendbar verwalten	
E1.82	Ich sehe den grossen Nutzen, das Information erarbeitet und zentral zur Verfügung gestellt wird. Und das vor allem, wenn man es modellbasiert macht. Also dass man wirklich Top-Down bis zu einem bestimmten Level nachvollziehbar, klar ist, wie das Verhalten des Systems ist, wie ist die Produktarchitektur vom System aufgebaut. Was ist das System überhaupt, was ist die Idee hinter dem System. Dass man das durchgängig nachvollziehen kann. Wenn eine Anforderung kommt, ein Need vom Kunden, wie schlägt sich der durch, über das Verhalten bis zur internen Struktur, bis zu technischen Anforderungen, die erfüllt werden müssen, dass man das durchgängig zeigen kann. Somit wird es, wenn man modellbasiert arbeitet zu einem Single Source of Truth, dass die Information, die heute sehr verteilt verfügbar ist, wirklich zentral verwaltet werden kann. Da sehe ich einen ganz grossen Vorteil.
E1.82	Einerseits im Produkt, wie es entsteht, andererseits aber in der täglichen Arbeit, dass man weiss wo die Information abgelegt ist, dass man Zusammenhänge besser erkennen kann. Das ist der Nutzen sozusagen für unsere Ingenieure.
E1.84	Wie ein System T funktioniert wird in einem Requirement so abgebildet, es muss so sein wie beim letzten Mal, plus wir haben diese drei Features neu, da ist sehr viel Wissen vielleicht auch verloren gegangen oder spezifisch irgendwo nur noch lokal bei Leuten verfügbar. Und so dieser Prozess, dass man jetzt alles wieder zusammenträgt, das bringt sicher einen Nutzen für die gesamte Organisation, dass man sich dem Problem wieder einmal stellt.
E1.117	I: Wenn du jemanden überzeugen müsstest, und sagst, wegen dem Nutzen starten wir mit MBSE, welchen würdest du nennen? E1: Single Source of Truth.
E1.122	Wenn ich jetzt 10 Jahre nach vorne denke, wir starten jetzt mit einer Produktentwicklung, dass wir das Modell haben und in 10 Jahren eine Nachfolgeneration planen, einfach mit dem Modell wieder starten können und sagen können, jawohl wir haben inkrementell weiterentwickelt und jetzt für einen nächsten grossen Schritte müssen wir an diesen und diesen Stellen Anpassungen machen, um neue Features für den Kunden implementieren zu können.
E1.124	Genau, dass es lebt, dass Änderungen, die zwischenzeitlich gekommen sind, gepflegt sind und dass die Leute die Information nicht irgendwo suchen, sondern auf das Modell zugreifen uns sagen "Jawohl, da haben wir alles" und weiterentwickeln. Und auch den Benefit sehen hinter modellbasiertem Systems Engineering, dass man das weiter brauchen kann.
E2.60	Der zweite Punkt, den ich mir als Nutzen vorstellen kann, wenn ich dann später im Lifecycle drinnen, wenn möglicherweise die Experten aus den Projekten schon raus sind und sich um andere Dinge kümmern, dokumentiert habe, wie das System aufgebaut ist und wie es zusammenhängt. Das kommt jetzt natürlich sehr stark darauf an, bis zu welchem Detaillierungsgrad MBSE implementiert worden ist dem Projekt. Trotzdem zeigt es wahrscheinlich sehr schön, wo sind die Schnittstellen, wo werden welche Daten übermittelt, wo habe ich Abhängigkeiten und auch da als Beispiel in grösseren Projekten mit komplexen Produkten, sind diese Abhängigkeiten nicht mehr einfach von irgendwelchen Entwicklern zu entdecken, eben aufgrund der Komplexität, diese engen Zusammenspiels von Sensoren und Software und Workflows.
E3.66	Das heisst, mit dem Tool mach ich praktisch die Dokumentation, so dass jeder darauf zugreifen kann und kann die dann auch anpassen, falls es Änderungen gibt.
E3.82	Nutzen vom Modell ist, habe ich vorhin schon kurz angesprochen, dass ich wirklich eine Quelle habe, an der ich immer ein aktuelles Systemmodell finden kann. Das sich auch recht einfach nachführen lässt. Im Vergleich zu den alten Tools, Visio oder ähnlich, und was auch wertvoll ist oder einen Benefit generiert, ist wenn alle Leute darauf zugreifen können. Also nach der Diskussion, nach der Anwendung der Methode, Diskussion von Use Case zum Beispiel, kann ich dann das im Tool nachsehen.
E3.86	Was ich noch sehe, wenn ich Single Source of Truth habe, wenn ich irgendwelche Dokumentation vom System weitergeben will. Konzept zum Beispiel. Dann sollte ich versuchen möglichst viel aus dem Modell zu verwenden, Diagramme und so weiter. Da ich oft die Diagramme für verschiedenen Themen oder für verschiedene Personen brauchen, spare ich insgesamt Arbeit, denn die sind an einem zentralen Ort abgelegt. Jeder kann sie verwenden. Das ist sicher noch ein Nutzen.
E4.54	Wir möchten auch den Plattformgedanken stärken und dort möchten wir auch mit der Hilfe von Systems Engineering unsere Plattform besser nutzen. Einerseits möchten wir

Nutzen von SE und MBSE \ Wissen zentral und wiederverwendbar verwalten	
	sicherstellen, dass wenn wir die Architektur gestalten, dass die Plattformen berücksichtigt werden. Und andererseits möchten wir auch sicherstellen, dass wenn wir Anforderungen haben, dass wir diese wiederverwenden können für andere Projekten. Die Wiederverwendbarkeit ist bei uns auch einerseits auf der Plattformebene, andererseits auf der Requirementsebene sehr wichtig. Das habe ich vorher schon erwähnt, letztlich geht es darum, das richtige Produkt richtig zu entwickeln.
E5.16	Und auch weiter im Verlauf des Projekts, dass man neuen Projektmitarbeitern aufzeigen kann, was das Vorhaben ist, wenn man es einigermaßen dokumentiert hat. Wohin die Reise gehen soll und insbesondere auch was schon umgesetzt ist und was noch kommt. Oder auch was nicht Teil des Projektes ist. Diese Abgrenzung ist auch immer wieder schön zu zeigen.
E5.32	So denke ich, kann dann die Architektur über die verschiedenen Projekte oder Produkte einheitlich werden, so dass dann ganze Plattformen wiederverwendet werden können. Weil ich doch auch in der Vergangenheit immer wieder gesehen habe, dass viele Projekte Insellösungen gebaut haben, die dann nicht mehr weiterverwendet werden konnten. Aber immer ähnliche Problemstellungen waren.

Nutzen von SE und MBSE \ Prozesse und methodisches Vorgehen	
E1.16	Also, ich denke, am Anfang ist es sicher, dass man das Problem zuerst analysiert, was die Problemstellung ist und dann systematisch sich der Problemstellung annähert. Die Anforderungen aufstellt und eine klare Trennung macht zwischen, was ist für das Produkt wichtig, was sind die Anforderungen und dann wie realisiere ich das jetzt wirklich im Produkt. Das zu strukturieren hilft sehr, um auch mit den Leuten zu arbeiten, um die Fragestellungen zu trennen.
E1.36	Also ich denke, wenn man SE so einführt, dann ist ein Hauptnutzen, dass Information über ein Produkt zentral erfasst wird und gespeichert wird. Dass man systematisch dies Information zusammenträgt und sich auch bewusst wird, dass man sich klar trennt zwischen Problem-Space und Solution-Space, zwischen was fordert der Markt, dass man das sauber aufarbeitet und wie realisiere ich das später.
E1.84	Die Methodik, die bringt vor allem den Nutzen, dass man sich transparent macht, was machen wir überhaupt.
E1.110	Aber was mir gefällt, das ist so universal einsetzbar, das können wir nutzen, um unsere eigenen Prozesse zu entwickeln. Oder nutzen, um Businessprozesse weiter zu bringen, wo man heute vielleicht nach Lösungen sucht, die eigentlich auch mit SE angegangen werden können.
E1.112	Ich denke, dass man sich zuerst über die Anwendung Gedanken macht. Wir haben ja diese Projekte mit dem Produktmanagement zusammen gemacht, wo wir uns intensiv mit der Anwendung des Kunden auseinandergesetzt haben. Wie wendet der Kunde das Produkt an. Das uns ein Kunde oder Produktmanagement das vorgestellt haben, dass wir das systematisch erfasst haben, wie man das macht. Aber auch systematisch abgeleitet haben, wo hat der Kunde einen Bedarf für Verbesserungen. Und da ist jetzt einiges eingeflossen. Dieses strukturierte, manchmal auch pingelige Vorgehen hat uns sehr geholfen. Wir haben das jetzt am Whiteboard gemacht, vielleicht noch nicht strukturiert in der Sprache, aber vom Prozess her hat das sehr geholfen, einen Schritt weiter zu kommen.
E1.113	I: Das war also ein Top-Down Ansatz, immer vorne anfangen. E1: Genau, immer zuerst mit einer Synthese vom Problem beginnen, den Blick nochmals aufmachen, was habe ich Lösungsraum für Möglichkeiten und dann aber auch wieder konvergent zu denken und dann divergent zu denken und dann zum Schluss kommen, so machen wir es, das ist die beste Lösung für das Produkt und schlussendlich für den Kunden.
E2.62	Was ich mitbekommen habe, es gibt verschiedene Methodiken, wenn es um Systems Engineering geht und natürlich geben, die Methodiken eine gewisse Logik vor, wie ich Requirements, funktionale Requirements, erarbeite, in gewissen Loops das durchgehe. Eine Guideline in das Projekt, die sonst möglicherweise nicht da wäre.
E2.62	Von dem her finde ich es hilfreich, dass MBSE gewisse Methodiken mitbringt, aber die Methodiken könnten auch von irgendeiner anderen Methodologie herrühren.
E3.110	Es ist immer so, dass es in Diskussionen und diesen Besprechungen werden immer, tauchen immer Fragen auf. Es tauchen immer Fragen auf, von den verschiedenen Teilnehmern, die dann beantwortet werden können. Wenn wir diese Besprechungen nicht machen würden,

Nutzen von SE und MBSE \ Prozesse und methodisches Vorgehen	
	weiss ich nicht, wo dann diese Fragen geklärt werden würden oder ob sie dann vielleicht nicht geklärt werden würden.
E4.20	Vor allem in der Medizinaltechnik habe ich einen Teil des Wechsels miterlebt, dass immer mehr Prozesse eingeführt wurde. Das war extrem hilfreich, um Klarheit in den Projekten zu schaffen. Insbesondere wie bildet man dem Markt gut in Requirements ab, das waren ein paar Schlüsselerlebnisse, die extern prägend waren, wo ich den Mehrwert gesehen habe.
E6.70	Ich glaube die Methodik ist dazu da, um Verständnis zu schaffen. Der Nutzen der Methodik ist dann da, um den Leuten den Zugang zu erleichtern.

Nutzen von SE und MBSE \ Interdisziplinäre Zusammenarbeit	
E1.82	Das andere ist, das Modell ist nicht Disziplinen behaftet, da sind nicht nur die Elektroniker die daran arbeiten oder die Produktmanager, die daran arbeiten, sondern das sind alle Disziplinen betroffen, die sich wiedersehen im Modell und dass auch die Disziplinen untereinander mehr Bewusstsein für Abhängigkeiten abbilden können oder die Möglichkeit habe das abzubilden. Und dass man viel mehr zusammenrückt. Also ich habe da einmal gelesen, das ist wie der Leim zwischen den Disziplinen, der soll wirklich entstehen, es soll wie einen Kitt ergeben, dass man viel effizienter arbeiten kann.
E1.106	Ein Nutzen, was vielleicht noch ist, ist in der ganzen Kommunikation unter den Disziplinen, dass man sich dort schneller einig ist, weil man die gleiche Sprache spricht oder jeder kann in der gleichen Sprache sein Problem beschreiben und man hat eine bessere Diskussionsgrundlage und vielleicht Konflikte schneller gelöst. Dort entsteht eher durch die Verwendung einer einheitlichen Sprache weniger Missverständnisse.
E2.28	Ich denke, dass wichtig ist, dass diese Nomenklatur, die MBSE mit sich bringt, wirklich von allen verstanden wird und dadurch sichergestellt werden kann, dass wir eine gemeinsame Sprache haben zwischen Produktmanagement, zwischen Hardware, Software, Produktion-Engineering und so weiter.
E2.30	Vor allem, weil ich die Stärke von Systems Engineering darin sehe, dass System als Ganzes anzusehen und dadurch automatisch diese cross-funktionale Denken, ich will nicht sagen, dass es schwimmt, aber man dann wirklich über die Disziplingrenzen hinüber denkt
E2.60	Wie bereits angesprochen, den primären Nutzen sehe ich, wenn das Produkt innerhalb eines Projektes wirklich entwickelt wird, diese gemeinsame Sprache, die die unterschiedlichen Disziplinen, die ja alle unterschiedliche Denkmodell haben und unterschiedliche Sprachterminologien haben, das irgendwie aufzubrechen und das auf eine gemeinsame Basis, auf eine gemeinsame Sprache zu stellen.
E2.72	Dieses visualisieren hat, da gibt es einige Beispiele, wo ich mich erinnern kann, wo eine gute Visualisierung, vor allem in cross-funktionalen Teams sehr, sehr viel gebracht hat.
E3.100	Diese zwei Bereiche, das System schneller entwickeln, besseres System machen und vielleicht schon auch ein wichtiger Punkt ist, die Zufriedenheit des Teams. Wenn sich das Team involviert fühlt in den Systems Engineering Prozesse, könnte ich mir vorstellen, dass sich das positiv auswirkt auf die Teamzusammengehörigkeit und auch die Zufriedenheit der Mitarbeiter schlussendlich.
E5.94	Die Hoffnung wäre auch, dass die Verknüpfung der einzelnen Disziplinen besser ist. Dass die Disziplinen besser untereinander vernetzt sind, besser zusammenarbeiten. Die Bedürfnisse der einzelnen Disziplinen klarer sind oder besser verstanden sind.
E6.90	Bei den letzten Projekten, meistens da wo es um interdisziplinäre Punkte ging. Selbst wenn es um Elektrotechniker geht, aber in verschiedenen Abteilungen, die einen sind für Steuerung, die anderen für Antriebe zuständig, die verstehen einander nicht immer. Da kann man mit Systems Engineering Ansätzen moderierend dazwischen gehen und Verständnis schaffen für beide Seiten. Manchmal auch nur als Puffer wirken, vielleicht im ersten Schritt, um zu zeigen, es ist nicht ganz so dramatisch, wie auch immer.
E6.92	Die einen fanden es interessant, dass da ein Abschnitt drin ist, wo man Lösungen skizziert, die man untersucht hat, aber nicht weiterverfolgt. Andere waren mehr auf der funktionalen Use Cases oder User Story fokussiert. Wieder andere haben sich mehr auf diese Strukturdefinitionen gestürzt und ich denke, das ist genau die Stärke davon, dass man die gesamtheitliche Betrachtung damit behandelt und dann die unterschiedlichen Leute und Perspektiven bedienen kann.

Nutzen von SE und MBSE \ Kommunikation und gemeinsame Sprache	
E1.38	Also zum Beispiel, dass man die Use Cases mit dem PM zusammen erarbeitet. Dass sie sich bewusst sind, was macht das Gerät, das Verhalten dazu, wie setze ich die interne Struktur auf, da kommen eher die technischen Anforderungen zusammen, dass man das zusammen-trägt.
E1.106	Ein Nutzen, was vielleicht noch ist, ist in der ganzen Kommunikation unter den Disziplinen, dass man sich dort schneller einig ist, weil man die gleiche Sprache spricht oder jeder kann in der gleichen Sprache sein Problem beschreiben und man hat eine bessere Diskussions-grundlage und vielleicht Konflikte schneller gelöst. Dort entsteht eher durch die Verwendung einer einheitlichen Sprache weniger Missverständnisse.
E2.28	Aus dem was ich vor 4 Jahren mitgenommen habe, und mir hängen geblieben ist, ist der potenziell Nutzen vor allem darin zu sehen eine gemeinsame Sprache zu schaffen, eine gemeinsame Sprache zu sprechen, wenn es darum geht, wie ist ein System aufgebaut, wie hängt es zusammen, was für Abhängigkeiten hat es. Das können einfach Diagramme sind, die auf einem Whiteboard sind oder einem Modell in einem entsprechenden Softwaretool. Ich denke, dass wichtig ist, dass diese Nomenklatur, die MBSE mit sich bringt, wirklich von allen verstanden wird und dadurch sichergestellt werden kann, dass wir eine gemeinsame Sprache haben zwischen Produktmanagement, zwischen Hardware, Software, Produktion-Engineering und so weiter.
E2.60	Wie bereits angesprochen, den primären Nutzen sehe ich, wenn das Produkt innerhalb eines Projektes wirklich entwickelt wird, diese gemeinsame Sprache, die die unterschiedlichen Disziplinen, die ja alle unterschiedliche Denkmodell haben und unterschiedliche Sprach-terminologien haben, das irgendwie aufzubrechen und das auf eine gemeinsame Basis, auf eine gemeinsame Sprache zu stellen. Darin sehe ich darum den grössten Nutzen, einfach aus Erfahrung, weil wir gesehen haben, dass sehr oft dort wo wir cross-funktionale Teams hatten, sehr lange aneinander vorbeigeredet worden ist, bis irgendjemand den Stift in die Hand genommen hat und angefangen hat auf einem Zettel oder einem Whiteboard zu malen. Dann sind auf einmal diese Aha-Effekte gekommen, "Ah, jetzt verstehe ich erst was du meinst". Allein aus dem Grund denke ich, dass sich eine Einführung von MBSE gerade bei grösseren Projekten, die sehr komplex werden können, lohnt. Meinen primären Nutzen, den ich sehe, ist die gemeinsame Sprache, das gemeinsame Verständnis, diese nicht-aneinander-vorbeireden und dann Monate später darauf kommen, dass das System eigentlich anders designed hätte gehört.
E2.76	Aus meiner Sicht ist der wichtigste Nutzen, also was ich mir erhoffe, ist diese gemeinsame Sprache zu entwickeln, weil wenn ich einmal auf dem Level bin, dass ich eine gemeinsame Sprache über die verschiedenen Disziplinen habe, dann habe ich das Potenzial darauf aufzubauen und auch komplexere Modelle, auch Modelle wo ich dann die Möglichkeit habe, möglicherweise Dinge zu simulieren. Aber der erste Schritt ist wirklich dieses gemeinsame Verständnis, diese gemeinsame Basis eine gemeinsame Sprache zu schaffen.
E3.88	Indem dass ich ein Diagramm so zeichnen kann, dass es für jemanden, der die Sprache kann, eindeutig verständlich ist, kann ich natürlich Missverständnissen vorbeugen. Und hilft dann auch wieder für ein einheitliches Verständnis von Requirements, von Use Cases, Use Case Aktivitäten, auch von der Architektur. Wenn ich ein Team habe, in dem alle diese Sprache beherrschen, kann ich sehr viele Missverständnisse ausschliessen.
E4.56	Die Methoden helfen extrem die Kommunikation zu verbessern und ein gemeinsames Verständnis zu haben.
E5.16	Und auch weiter im Verlauf des Projekts, dass man neuen Projektmitarbeitern aufzeigen kann, was das Vorhaben ist, wenn man es einigermaßen dokumentiert hat. Wohin die Reise gehen soll und insbesondere auch was schon umgesetzt ist und was noch kommt.
E5.72	Und mit auch der frühen Kommunikation oder dass man schon früh zeigen kann, was man bauen möchte. Mit dem Vorteil, dass weitere Anforderungen direkt dazu genommen werden können oder weiter geklärt werden können
E6.76	Die Sprache SysML oder generell Notationssprachen, die normieren die Sprachen. Der Hauptnutzen da ist eine Verbesserung der Verständlichkeit, weil natürliche Sprachen sind viel zu wenig scharf definiert, um da in Folge gibt es Missverständnisse. Extremer wird es, wenn man über Sprachgrenzen hinweg kommunizieren muss. Da helfen diese normierten Sprachen.

Nutzen von SE und MBSE \ Transparenz	
E1.36	Wenn man das jetzt noch zusammenträgt in einem Modell und diese Information zur Verfügung hat in einer ersten Übersicht zum Beispiel, dann ist es natürlich auch sehr transparent für die Team-Mitglieder, dass sie sehr schnell Informationen über das Produkt finden
E1.82	Was ist das System überhaupt, was ist die Idee hinter dem System. Dass man das durchgängig nachvollziehen kann. Wenn eine Anforderung kommt, ein Need vom Kunden, wie schlägt sich der durch, über das Verhalten bis zur internen Struktur, bis zu technischen Anforderungen, die erfüllt werden müssen, dass man das durchgängig zeigen kann
E4.20	Ganz klar die Verifizierung und Validierung, die Traceability zwischen Requirements und Test, ist eine extrem wichtige Grundlage, damit man am Schluss sicher ist, dass man das richtige Produkte entwickelt hat, und dass man das Produkt richtig entwickelt hat.
E4.34	Die beiden Hauptnutzen sind Effektivität und Effizienz. Mit der Effektivität ist es das richtige Produkt zu entwickeln und Effizienz, die Produkte richtig zu entwickeln. Insbesondere bei der Effektivität, das ist in der Produktentwicklung entscheidend, dass man wirklich das Produkt entwickelt, das den Kunden auch einen Mehrwert bringt und da gibt es meiner Ansicht nach, gibt es nicht viele Methoden oder Lösungen, die uns da helfen. Und da sehe ich eine grosse Stärke von Systems Engineering, dass wirklich auch hilft, Sachen besser transparent darzustellen, damit man auch das mit den Stakeholdern viel klarer abgleichen kann.
E4.60	Ein weiterer wichtiger Nutzen ist noch der Link zwischen Requirements und dann Verifizierung und Validierung. Dass man diese Traceability dort auch zustande bringt.
E4.80	Ich glaube wir werden sehr viel effizienter und effektiver arbeiten können. Es wird eine viel höhere Transparenz möglich sein. Und dass wir dieses Systemdenken verinnerlichen, damit auch jeder Entwickler, der bei uns arbeitet auch versteht, für welche Anwendung er die Produkte entwickelt.
E5.38	Bessere Transparenz am Anfang des Projektes. Wie ich vorhin auch gesagt habe, dass man schon in einem sehr frühen Stadium, besser sieht was man bauen möchte. Oder wie man das Ganze umsetzen möchte, damit dann das Management auch Einfluss nehmen kann, falls es in die falsche Richtung gehen würde.
E6.66	In unserem Fall waren es Qualitätskriterien. Man kann die Qualität besser steuern. Vielleicht ist das der Hauptnutzen letztendlich, man kann das Projekt besser steuern, weil es transparenter wird.
E6.98	Ich glaube die Transparenz, die es schafft. Dadurch dass man bewusst Risiken eingehen kann oder eben vermeiden kann. Ich glaube auch, das ist der Kern von Systems Engineering, Risikomanagement im Allgemeinen.

Nutzen von SE und MBSE \ Verbesserung der Produktqualität und -performance	
E1.82	Und das andere ist der Nutzen für das Produkt, denke dass wen man jetzt modellbasiert erfasst, da ist einiges an Performance drin für das Produkt selbst, dass man Verbesserung sehr viel schneller erkennen kann oder Need aus dem Markt zuweisen kann, ja wo hat jetzt das Einfluss in unserer Architektur oder wo müssen wir da besser werden. Dass man das viel besser beschreiben kann, also wenn es in die Organisation kommt, dass man da viel schneller weiss, diese Komponenten sind betroffen, da müssen wir etwas machen. Das ist heute sehr schwierig zu beschreiben.
E3.78	Ich glaube diese Sessions an einem Whiteboard oder Flip-Chart, wie auch immer, an dem ich wirklich mir Gedanken über Requirements, Use Cases mache, ich glaube die helfen dadurch, dass das Verständnis geschaffen wird für diese Anforderungen, ein besseres System zu entwickeln.
E3.100	Dann schwer bewertbar, aber sicher auch ein Benefit ist das System wird besser, heisst, es passt besser zu den Anforderungen, es erfüllt besser den Nutzen. Ich kann wahrscheinlich mit weniger Kosten für das System den gleichen Nutzen erfüllen oder mehr Nutzen generieren für den Kunden.
E4.54	Weiter gehen wir in neue Märkte rein, mit neuen Users und entsprechenden Customer Needs. Auch dort möchten wir den Abgleich mit den Stakeholdern verbessern und mit Hilfe von Systems Engineering diese Abgleich besser zu machen.
E4.56	Auch innerhalb vom Projektteam hilft es extrem, das gemeinsame Verständnis so zu schaffen und gleichzeitig ... ist die Frage ob es bei der Methode ist oder nicht, ist noch schwierig zu sagen ... damit man auch einen gewissen Quality Check bereits frühzeitig hat, wenn man zwischen den verschiedenen Blickwinkeln auf das System schaut, dann hat man fast schon

Nutzen von SE und MBSE \ Verbesserung der Produktqualität und -performance	
	automatisch einen gewissen Quality Check, damit dann verschiedene Perspektiven auf das gleiche System hat. Dann sieht man auch zum Teil Lücken, die man vorher noch nicht gesehen hat.
E5.91	I: Wir haben schon einiges über Nutzen gesprochen. Deiner Einschätzung nach, was ist der wichtigste Nutzen von MBSE? E5: Bessere Produkte.
E6.38	Bei uns war ein Nutzen, den man adressieren kann, die Qualität. Weil Folgemaßnahmen sind sehr teuer und das andere ist, auf der Zeitschiene, die Verlässlichkeit der Terminplanung, weil häufig, Probleme auftauchen spät im Entwicklungszyklus oder sogar, wenn das Produkt schon operativ ist und dadurch natürlich der Lösungsraum um das Problem zu lösen kleiner wird und es gibt dann einen Zeitdruck, weil ein Kunde tangiert wird mit dem Problem und das nicht nur intern bleibt. In dem Sinne kann man das als Qualität zusammenfassen, dass man die verbessern kann.
E6.66	Das Management kann entscheiden, will es sehr gute Qualität oder will es sehr schnell ein Produkt oder irgendwo etwas dazwischen.

Nutzen von SE und MBSE \ Nutzen durch die Verwendung eines Modells	
E1.36	Wenn man das jetzt noch zusammenträgt in einem Modell und diese Information zur Verfügung hat in einer ersten Übersicht zum Beispiel, dann ist es natürlich auch sehr transparent für die Team-Mitglieder, dass sie sehr schnell Informationen über das Produkt finden und zwar Top-Down, aber auch das Management sehr schnell Information finden kann, im Sinne ein Cockpit zur Verfügung haben. Wo stehen sie genau im Prozess.
E1.76	Dass dort über dem Produktlebenszyklus bei uns in der Entwicklung immer mehr Informationen verfügbar sind, die verknüpft werden kann mit dem Modell.
E3.84	Sobald ich das Modell erstellt habe, kann ich gewisse Auswertungen machen am Modell. Ich glaube, das ist natürlich auch mächtig. Nachdem die Requirements diskutiert sind und auch Requirements Break-Down gemacht habe, also quasi mir überlegt wie ich die Requirements erfüllen kann, kann ich natürlich dann Überprüfungen machen. Zum Beispiel habe ich alle Requirement durch irgendwelche Module erfüllt. Habe ich alle Requirements durch Tests abgedeckt. Dadurch, dass ich diese Links habe bei Requirements, Tests und Use Cases kann ich auch besser nachvollziehen als Teammitglied wie die Anforderung zustande kommt. Wie es genau gemeint ist. Warum gewisse Anforderungen so da sind. Ich kann zum Beispiel von einem technischen Requirement, kann ich mich bis zur Marktanforderung, kann ich diesen Zusammenhang nachvollziehen. Wie ist das zustande gekommen. Das hilft sicher, diese Anforderungen richtig zu erfüllen. Requirements, Test Cases, Erfüllung von Requirements. Ich denke, das sind die wichtigsten Sachen.
E4.22	Der Tooleinsatz ist vor allem für mich die Effizienzsteigerung.
E5.75	I: Generiert das Modell an sich auch einen Nutzen? E5: Ja, ich kann darüber brüten und philosophieren und ich kann es zeigen, wie die Partitionierung der Teilsysteme ist, wo die Funktionen gelöst werden, wie die Funktionen umgesetzt werden sollen. Welcher Teil des Gesamtsystems auch wirklich welche Funktion löst. Auch wie die Schnittstellen sind. Ich kenne dann auch die Anforderungen an die verschiedenen Schnittstellen. Damit sollte es auch nicht passieren, dass ich irgendwann merke, dass die Schnittstelle die Kapazität nicht hat, die dann gefordert wird. Solche Überraschungen, kann man sehr schnell erkennen und behandeln.
E6.72	Das Modell soll jetzt endlich die ganzen nötigen Daten in einer kohärenten und konsistenten Form verwalten. Deswegen wäre es idealerweise in Modell, was aber wie gesagt nicht möglich ist, weil letztendlich muss das Modell wahrscheinlich über ein Tool verwaltet werden, weil es zu umfangreich sonst ist und die Tools sind auf gewisse Disziplinen spezialisiert. Also werden wir wahrscheinlich in naher Zukunft nicht so ein einzelnes Modell kriege, das alles abdeckt. Aber das wäre die Vision, dass man alles miteinander verbunden hat über den gesamten Lebenszyklus.
E6.74	Ein ganz spezifischer Nutzen ist, dass man anwendergerechte Dokumentation erstellen kann. Dokumentieren ist aufwändig, deswegen wurde es in der Vergangenheit häufig etwas vernachlässigt und dann heisst es man macht ein Dokument für viele Anwendungen und heute kann man eigentlich das Dokument definieren und dann ganz spezifisch für einen

Nutzen von SE und MBSE \ Nutzen durch die Verwendung eines Modells	
	Anwendung generieren. Das heisst, man hat dann nur sehr wenig Mehraufwand, um verschiedene Dokumente zu erzeugen aus den gleichen Daten.

Nutzen von SE und MBSE \ System- und Einflussanalyse	
E2.60	Ich sehe dort auch den Vorteil, wenn wir an einem Link, der durch das System hindurchgeht, etwas ändern, viel besser und eindeutig die Frage beantworten können «Welche Dinge müssen wir an diesem System jetzt testen und wo haben diese Änderungen keinen Einfluss gehabt».
E3.96	Ich glaube, dass diese Toolauswertungen, Requirements-Test Cases, welche Requirements sind erfüllt, ich sehe die Zusammenhänge der Requirements mit der Architektur, das ich weiss was passiert, wenn sich ein Requirement ändert, was passiert, wenn sich ein Modul oder eine Subkomponente oder eine Komponente von dem System ändert. Diese Zusammenhänge kann man schon zeigen und jeder versteht, dass das was bringt. Jeder kann verstehen, dass es Lücken aufdeckt, in der Entwicklung und dass es einfacher wird auf gewisse Änderungen von Anforderungen oder vom System zu reagieren.
E4.58	Insbesondere wenn es dann Toolbasiert ist möchten wir sicher noch viel stärker werden, damit wir eben auch mit der Namensgebung effektiv auch die Qualität des Modells erhöhen können und damit wir vor allem auch die Änderungen besser verfolgen können. Damit wir, wenn wir eine Änderung im Projekt-Scope oder bei den Requirements haben, damit wir dann sehr schnell analysieren können, was ist der Impakt auf das Projekt
E5.72	Dass die wichtigen Designentscheidungen schon sehr früh gefällt werden können, dass das aber auch gut abgestützt ist, so dass später bei der Umsetzung diesbezüglich keine Überraschungen mehr auftreten sollten.
E5.72	Dass auch Widersprüche in den Anforderungen gelöst werden können, weil man auf dem Papier schon das Produkt baut. Das ist der grosse Vorteil. Und natürlich auch sehr schnell ändern kann.

Nutzen von SE und MBSE \ Simulationen zur frühen Verifikation	
E2.78	Ich würde es total cool finden, wenn wir anhand eines Modells simulieren könnten, wie der Zusammenhänge zwischen Motorensteuerung, Drehgeschwindigkeit von Achsen, anfallenden Daten, Durchfluss von Daten über gewisse elektronische Schnittstellen und so weiter ist und so quasi am Modell ausprobieren könnten, was ist das optimale Set an Komponenten, Schnittstellen usw. um das Produkt möglichst effizient bauen zu können, bevor wir hergehen und Prototypen machen.
E2.80	Wenn ich träumen dürfte, wäre Simulation von einem Gesamtsystem ohne, dass wir jetzt schon angefangen haben Prototypen zu bauen, das wäre total spannend.
E4.90	Was in Zukunft noch kommen kann, ist sicher, dass die Darstellung noch einfacher wird und die Verknüpfungen sehr bedienerfreundlich sind. Dass man sehr früh eine Simulation des Produkts machen kann, bevor man das Produkt entwickelt. Dass später die Implementierung dann fast automatisiert ist. Dass man sich primär sich nur noch um das Hauptsystem kümmern muss und danach der Rest nur noch ein Knopf drücken ist und dann kommt das Produkt raus.
E5.72	Auch schon gewisse Simulationen machen kann, um etwas zu verifizieren. Oder wenn es nötig ist ein Funktionsmuster zu bauen, wenn man etwas Neues bauen möchte, um wirklich das Konzept zu verifizieren.

Anhang F.6 Sichtbarkeit des Nutzens

Sichtbarkeit des Nutzens \ Nutzen erkennen und sichtbar machen	
E1.98	Eine Möglichkeit ist, wenn man das abfragt bei den Mitarbeitern in Projekten oder auch bei den Stakeholdern. Wenn sie jetzt auf den Prozess schauen, wie fühlen sie sich. Beispielsweise, dass man das bei den Meilensteinen abfragt, "Wie fühlt ihr euch, dass wir das so gemacht. Wie ist euer Eindruck, haben wir da viel länger gebraucht oder müsste das nicht schneller passieren". Oder sind die richtigen Inhalte adressiert, sind die Hauptanforderungen berücksichtigt, aber auch bei den Teammitgliedern, "wie geht es euch?",

Sichtbarkeit des Nutzens \ Nutzen erkennen und sichtbar machen	
	"Findet ihr euch schneller zurecht im Modell?", "Ist die Information viel leichter zugänglich, oder muss ich 3-400 Seiten Dokumente lesen, bis ich irgendwo Information gefunden habe", "Das geht heute viel schneller", solche Abfragen könnte man bei Teams machen. Dass man beim Modell erstellen abfragt, hat das jetzt einen Wert generiert. Einen aha-Effekt, darum ist das so.
E1.124	dass die Leute die Information nicht irgendwo suchen, sondern auf das Modell zugreifen uns sagen "Jawohl, da haben wir alles" und weiterentwickeln. Und auch den Benefit sehen hinter modellbasiertem Systems Engineering, dass man das weiter brauchen kann.
E2.66	Ich könnte mir sehr gut vorstellen, dass man mit Diagrammen, mit Abläufen, mit Architektur, die irgendwie visuell greifbar sind wesentlich besser arbeiten kann, dass auch diese quasi zu veröffentlichen in geschützten Räumen, wo keine Externe Zugang haben. Allein diese an den Wänden aufzuhängen, publik zu machen, diskutierbar zu machen, in die Öffentlichkeit zu ziehen, ein viel besseres, grundsätzliches Verständnis des gesamten Systems haben und somit einen gewissen unterschwelligen Support geben, um das ganze Team auf ein Niveau zu bringen, wo sie das System an sich besser verstehen.
E3.40	Aber man kann von konkreten Beispielen, kann man schon Nutzen zeigen, der auch verständlich, kann auch verständlich zeigen. Ja, prüfen von Erfüllung von Requirements. Abdeckung von Requirements durch Tests. Abhängigkeiten von Requirements zueinander, solche Sachen, also rein, wirklich an konkreten Beispielen kann man das schon zeigen und auch verständlich zeigen.
E3.90	Was man sicher machen kann, ist sich auf Feedback vom Team zu verlassen, das praktisch beide Wege kennt, den klassischen Weg ohne diesen Systems Engineering Ansatz und den neuen Weg, da kann man Feedback abholen, das ist dann eher subjektiv, eine subjektive Meinung der Teammitglieder.
E3.96	Das Grundsätzlich ist etwas, das recht einfach verständlich ist und das kann man zeigen, anhand von einem Beispiel, zum Beispiel aus dem Proof-of-Concept Projekt heraus kann man das anhand eines Beispiels zeigen. Und ich glaube das ist auch sehr verständlich, auch für das Management sehr verständlich, dass das etwas hilft. Noch besser wird es natürlich, wenn ich auf irgendwelche bereits gelaufenen Projekte verweisen kann und ausweisen kann oder glaubhaft zeigen kann, dass gewisse Fehler, die ich bereits gemacht habe, sich hätten verhindern lassen mit Systems Engineering mit dem Tool, mit der Sprache oder mit der Methode.
E3.112	Das ist das Wichtigste, wenn das Versuchsprojekte zeigt, dass es funktioniert und das Management Unterstützung hat, das ist eine gute Voraussetzung.
E4.66	Ich denke, den Nutzen zu zeigen ist extrem wichtig, damit man auch das Systems Engineering am Leben erhalten kann.
E4.68	Es ist noch interessant, bereits bei den Piloten sieht man ein ... zumindest messbar in dem Sinne, es werden Diskussionen angeregt im Projekt und auch mit Stakeholdern, die vorher so nicht stattgefunden haben. Jetzt dort wirklich das messen, da müsste man schauen, den Wert dieser Diskussion irgendwie messen, aber das ist zumindest sehr stark spürbar. Messbar ist es noch nicht.
E4.70	Sichtbar machen kann man indem man die wichtigsten Sichtwinkel auf das Projekt einer grösseren Mitarbeitergruppe zur Verfügung stellt, damit wichtige Diskussionen stattfinden und dass man auf diesen Ansichten vielleicht auch Änderungen einzeichnet. Anders darstellt.
E4.74	Wir haben ein Pilotprojekt, mehrfach ihre Resultate präsentieren lassen und nur schon durch diese Präsentation und wie das Feedback dann kam, und dort auch abfragt, was der Nutzen ist, dann bekommt man sehr klare Antworten. Ich würde versuchen die Chance zu bieten, die Sachen zu präsentieren, zu zeigen, was das Team erarbeitet hat und danach nach dem Nutzen zu fragen. Dort ist immer der Test, ob die Stakeholder auch zufrieden sind oder ob es einen Mehrwert bringt. Uns sonst frage ich im direkten Gespräch.
E4.74	Wir machen sehr viele Wrap-Up und Retrospektiven, wo wir immer prüfen, ob wir richtig vorgehen. Es ist sehr wichtig, die Retrospektiven. Wir haben bei den Piloten eine tägliche Retrospektive eingeführt, damit ein sehr aktiver Austausch stattfindet, ob man auf dem richtigen Weg ist.
E5.84	Sicher jedes Mal, wenn man es gerade wieder erfährt, dass man das dann auch publik machen kann, dem Management zeigen kann. Ein weiterer Nutzen, der mit gerade in den Sinn kommt, ist bei Änderungen im Projekt, bei neuen Anforderungen, dass man relativ schnell die Abhängigkeiten sieht. Durch das Modell. Da kann man natürlich schon recht schnell auch zeigen, ja das geht, das hat diese und diese Abhängigkeit. Wo man früher

Sichtbarkeit des Nutzens \ Nutzen erkennen und sichtbar machen	
	wahrscheinlich sehr viel Zeit aufwenden musste, um zu dieser Erkenntnis zu kommen. Da kann man wirklich zeigen, anhand des Modells, man sieht es gerade sofort, da sind die Abhängigkeiten, da müssen wir nochmals nachsehen.
E5.94	Dass der MBSE Prozess gelebt wird, gut gelebt wird, mit einer Selbstverständlichkeit auch, dass es keine Frage mehr ist, dass jedem klar ist, was der Nutzen ist und dass die besseren Produkte damit rauskommen.
E6.26	Ich glaube das ist der Punkt, Beispiel bringen und dann später schauen, dass man die visionären Leute ansprechen kann, um es dann auf Geschäftsleitungsebene zu etablieren.
E6.30	Das eine ist "Erkennen des Nutzens", weil es scheint manchmal, dass da nur Mehraufwand getrieben wird und manchmal erscheint es, als ob man da Happy-Engineering betreibt, weil man gewisse Grundlagen bearbeitet, die als offensichtlich erkannt werden, aber es wird nicht gesehen, dass das (unverständlich), was man nachher konsistent und kohärent weiterziehen muss.
E6.82	Auf der untersten Stufe kann man den Nutzen sichtbar machen, indem man die Friktionen rausnimmt, indem zeigen kann, dass es weniger zu Konflikten oder zu weniger heftigen Konflikten kommt. Man macht den Leuten das Arbeiten angenehmer.

Sichtbarkeit des Nutzens \ Nutzen kommunizieren	
E2.40	Natürlich nicht nur auf Managementebene, sondern auch auf Teamebene, auf Softwareteamebene, auf Hardwareteamebene, die Leute versuchen ins Boot zu holen und ihnen den Nutzen klar zu machen, den MBSE bringen kann und bringen soll. Was erwarten wir uns aus dem Ganzen.
E3.104	Natürlich, wenn ich den Nutzen transparent machen kann im Pilotprojekt, dann würden sich diese Widerstände eher auflösen. Das könnte dazu führen, dass sich die Widerstände auflösen.
E4.86	Das andere ist, dass man sich bewusst ist, dass es ein Veränderungsprozess ist mit Einführung. Das heisst, man muss das Change-Management sehr gut organisieren und die Leute auch sehr transparent informieren und motivieren, damit sie mitziehen und immer wieder den Mehrwert aufzeigen.
E6.26	Das Beste ist immer, wenn man einfache Beispiele zeigen kann, wo der Nutzen wirklich herausgestrichen werden kann.
E6.82	Das kann man aber allenfalls von vergleichbaren Firmen machen, da kann man sagen "Schau, da wurde das auch so gemacht und das war der Erfolg davon". Da sind wir natürlich wieder beim Problem, dass wenn die Verbreitung klein ist, dass man da auch keine Beispiele oder nur wenige Beispiele nennen kann und wenn man dann ein Beispiel nennt, (unverständlich). Vergleichbarkeit ist aber das Problem, wenn die Verbreitung von Systems Engineering noch nicht da ist, gibt es nur wenige Fälle oder Firmen die man herziehen kann für die Vergleiche und wenn man nur wenige Firmen hat, dann ist da Risiko, dass die Kritik kommt, das ist ja nicht vergleichbar, weil die machen etwas ganz anderes als wir. Da kann man aber möglicherweise dagegenhalten und sagen, ja das Produkt selbst ist anders, aber die Prozesse sind vergleichbar.

Sichtbarkeit des Nutzens \ Nutzen messbar machen	
E1.86	Ich denke, der Nutzen ist eher fühlbar, wenn man jetzt von den Stakeholder aus betrachtet, dass sie erkennen, es entsteht ein Produkt im Modell, sie finde quasi die Informationen, die sie eingespeist haben auf ihrer Ebene, also Produktmanager, dass sie bearbeitet werden, dann von der Technikseite aus, mit was habe ich es zu tun, das ist noch schwierig messbar. Es ist eher fühlbar, dass man sieht, für was bin ich jetzt verantwortlich, für was bin ich zuständig. Also quantifizierbar eher schwierig, denke ich.
E1.88	Ich hoffe schwer, dass man den Return on Invest, sage mal beim ersten Produkt, wird man sicher mehr investieren müssen, der Return kommt, dann wenn man inkrementell auf einem Produkt weiterentwickelt, dass man die ganze Datenbasis oder Informationsbasis bereits geschaffen hat und dann nur noch zusätzlich entwickeln muss, oder wenn man eine Kopie macht. Eher später in zukünftigen Produktentwicklungen wird sich das vielleicht niederschlagen.
E1.89	I: Könnte man dann sagen, das bestehende übernehme ich und den Aufwand habe ich dann gespart. Das wäre dann vielleicht eine Art von Messbarkeit.

Sichtbarkeit des Nutzens \ Nutzen messbar machen	
	E1: Den Aufwand habe ich gespart, aber ich habe ihn nicht verloren. Das ist das was vielleicht heute ist, die Information ist schon vorhanden, aber ich muss sie im ganzen Unternehmen zusammensuchen.
E1.94	Es gibt es schon messbare Kriterien. Wenn man im V(-Modell) schaut und hinten in Richtung Test geht, die ganze Testbarkeit oder zu welchem Grad ist ein System oder sind Komponenten getestet, dass dort schon messbare Element vielleicht mit reinkommen. So wie wir das heute mit unserem Testtool machen, dass man sehen kann, Elektronik hat Teststand 70% oder gewisse Komponenten können jetzt validiert werden durch Produktmanagement beispielsweise. Das solche Informationen eher verfügbar gemacht werden können und messbar werden. Dass vielleicht weniger Leerläufe passieren.
E1.96	Zeit gewonnen oder Leerläufe im Sinn von "der wollte das Testen und es ist noch nicht implementiert" beispielweise
E2.64	In Kommunikation und gemeinsame Sprache wird man nicht wirklich messen können. Ich bin davon überzeugt, dass ein Team, das sich blind versteht, würde wahrscheinlich auch ohne MBSE sehr gute Ergebnisse bringen, ein Team, wo es nicht funktioniert, kann möglicherweise MBSE Schadensbegrenzung machen. Schlussendlich ist es nicht messbar. Aber ich denke sehr wohl, dass MBSE die Möglichkeit schafft, das Ganze auf ein höheres Effizienzniveau zu holen. Dass einfach mit weniger Aufwand schlussendlich mehr erreicht werden kann. Messbar aus meiner Sicht kaum. Der zweite Nutzen, den ich erwähnt habe, eher im Lifecycle, im Zusammenhang, die Dokumentation auch da wahrscheinlich schwer messbar.
E3.40	Es gibt ja grundsätzlich auch im Web schon gewisse Studien, die gemacht wurden, die Nutzen zeigen von Systems Engineering, natürlich immer recht spezifisch auf bestimmte Industrien. Grundsätzlich gibt es die. Ansonsten haben wir ja die Erfahrung gemacht im Proof-of-Concept Projekt und so, dass rein den Nutzen finanziell bewertbar zu machen ist sehr, sehr schwierig.
E3.40	Es ist einfach finanziell nicht bewertbar oder schwer bewertbar.
E3.90	Also messen, Management möchte immer in Dollar messen. In Euro messen. Ich glaube das ist eben schwierig. Schlussendlich möchte man gerne in Geld messen können.
E3.90	Was schön wäre, aber schwierig ist, herauszufinden, ob ich schneller bin schlussendlich, also zum Beispiel, wenn man sagt wir machen das jetzt in den Pilotprojekten, dann vielleicht auch noch in zwei, drei weiteren Projekten, dann einmal herausfinden könnte ob man insgesamt schneller geworden ist, das wäre super, aber halte ich nicht für realistisch.
E3.92	Da gibt es so viele andere Einflussgrößen in die Projektlaufzeiten, ich glaube das ist schwierig. Man könnte höchstens sich überlegen, ob man den zeitlichen Aufwand, den man durch die Übernahme von existierenden Modellen in neue Projekte, den man sich dort erspart, dass man den irgendwie bewerten kann. Solche Sachen könnte ich mir vorstellen. Jetzt auf eine gesamte Projektlaufzeit, halte ich nicht für realistisch. Da gibt es so viele andere Einflussgrößen, die die Durchlaufzeiten bestimmen, dass ich wahrscheinlich den Systems Engineering Anteil, den Nutzen oder die Beschleunigung dadurch, oder auch die Verzögerung dadurch, nicht wirklich erfassen kann. Was ich initial schon machen kann, ich kann hingehen und den Mehraufwand abschätzen. Das ist recht einfach. Vorher hatte ich kein Systemmodell und auch die Diskussionen vom Systems Engineering haben nicht in der Art und Weise stattgefunden, wie sie jetzt stattfinden, das heisst, ich kann natürlich hingehen und kann diese Aufwände, die neu dazukommen kann ich eben bewerten. Ich kann mir überlegen, wieviel Zeit brauch ich denn für das Erstellen des Systemmodells in dem Tool. Wieviel Zeit brauche ich denn für diese Besprechungen mit dem Team, in denen ich Requirements diskutiere oder einen speziellen Use Case diskutiere. Das kann ich bewerten, ich kann bewerten oder abschätzen, wieviel Zeit ich dafür brauche. Aber das ist eben nur das negativ, ich sehe nur den Mehraufwand, den ich habe mit Systems Engineering, aber ich sehe den Benefit nicht, den kann ich nicht so einfach abschätzen.
E3.94	Die Wiederverwendung des Systemmodells, ist das einzige, das ich mir wirklich als sichtbare und messbare Aufwandsersparnis oder Durchlaufzeitersparnis auch schlussendlich abschätzen könnte. Aber das bildet nicht den gesamten Nutzen von Systems Engineering ab. Die anderen Zeiten oder Geld, das ich mir erspare durch die anderen Nutzen, die wir vorher besprochen haben, diese Auswertungen am Tool, diese Single Source of Truth, diese Mehrfacherstellung von Konzeptdokumenten, Diagrammen und so weiter. Ich glaube das kann man nicht abschätzen.

Sichtbarkeit des Nutzens \ Nutzen messbar machen	
E4.61	<p>I: Wie schätzt du die Messbarkeit des Nutzens von MBSE ein?</p> <p>E4: Ich glaube grundsätzlich ist es möglich, aber es verwässert dann sehr schnell mit den gleichen KPIs, die man bei Projektmanagement nutzt. Die Entwicklungszeit ist sicher entscheidend, das man messen könnte. Ich glaube dort wird es einen Nutzen haben und auch wieviel Ressourcen wir in ein Projekt investieren. Es ist schwierig, weil jedes Projekt einzigartig ist. Insbesondere die Effektivität ist sehr schwierig zu messen, weil die wird sich erst nachträglich zeigen, wenn wir auf dem Markt sind, ob wir das richtige Produkt entwickelt haben. Das macht die Messbarkeit schon eine Herausforderung</p>
E4.64	<p>Sehr wichtig, dass man das vorgängig definiert und vorbereitet, damit man auch den Fortschritt messen kann. Wir haben aber jetzt noch nicht die KPIs gefunden, oder wir können die Sachen noch nicht so gut verwalten, damit wir dort gute KPIs definieren können. Ein sicher gut KPI wäre sicher noch, wie viele Änderungen zu welchem Zeitpunkt im Projekt vorkommen.</p>
E5.79	<p>I: Wie schätzt du die Messbarkeit vom Nutzen ein?</p> <p>E5: Gute Frage, keine Ahnung. Weil, bessere Produkte, ist schwierig messbar, ob die Entwicklungszeit wirklich kürzer wird, ist die Frage. Was ich wirklich weniger erwarte sind Loops im Projekt. Die müssten eigentlich irgendwo messbar sein, dass man Designloops oder vergessenen Requirements sollten eigentlich weniger vorkommen. Neue Requirements kann man nicht abfangen, aber vergessene Requirements, das sollte mit einem guten Vorgehen mehr oder weniger erledigt sein. Das ist es etwa.</p>
E6.77	<p>I: Du hast bereits viele Beispiele von Nutzen gesagt. Wie schätzt du die Messbarkeit des Nutzens ein?</p> <p>E6: Das kann man vermutlich nur rückblickend direkt machen, dass man sagt, man hat vergleichbare Projekte und sieht, dass es bei neueren Projekten, wo der Systems Engineering Approach angewandt wurde, besser war. Wobei die Vergleichbarkeit schwierig ist, weil es nicht parallel läuft. Das heisst, abgesehen von den bekannten Studien, ist die Messbarkeit sehr schwierig und ich glaube das ist immer noch ein ganz grosses Problem, von der Systems Engineering Disziplin, dass diese Messbarkeit, nicht wirklich einfach greifbar ist. Ist wahrscheinlich auch ein Problem dann eben für die Einführung.</p>
E6.80	<p>Das Projekt müsste einen vergleichbaren Schwierigkeitsgrad haben oder eine vergleichbare Komplexität, wobei das wieder ein Punkt ist wo man nicht messen kann. Dann könnte man entsprechen den Bedarf an Ressourcen, Durchlaufzeit messen oder man könnte messen, wie viele Problem, Change Requests entstanden wann, wenn man das zeitlich sieht. Das müsste bei guten Systems Engineering Anwendung, müssten die Change Requests am Anfang häufig sein und gegen Ende wenig werden und ohne Systems Engineering eher umgekehrt, dass der Berg der Change Requests eher später im zeitlichen Verlauf passieren würde. Und man könnte natürlich den Folgeaufwand der Change Requests messen, sagen wie viel Aufwand verursachte jeder einzelne Change Request.</p>

Anhang F.7 Einfluss auf die Prozesse und die Organisation

Einfluss auf Prozesse und Organisation \ Während der Einführungsphase	
E1.42	<p>Ich denke, wir sollten jetzt langsam starten und es sollte klar sein, wer ist für den Input verantwortlich, wer bildet das ab im Modell, wer hat alles Zugriff auf das Modell.</p>
E2.18	<p>Aus meiner Sicht macht es Sinn, Pilotprojekte auszuwählen, die sich auch für den Einsatz von MBSE eignen, das heisst, es sind nicht alle Projekte gleich gut geeignet, um Systems Engineering anzuwenden. Sinnvollerweise wäre es für mich Projekte, die wir eigentlich vom Risiko her relativ gut abschätzen können, weil wir möglicherweise bereits Erfahrungen haben in einem solchen System. Aber trotzdem einen gewissen Neuheitsgrad haben, wo wir nicht eine Kopie von dem machen, was wir vor 7 Jahren das letzte Mal gemacht haben.</p>
E2.24	<p>Für den Anfang, für die Einführung von MBSE in eine Organisation, ist meiner Meinung nach eine temporäre Organisation, im Sinne von einem Projekt, ausreichend.</p>
E3.54	<p>Ein Proof-Of-Concept Projekt, noch nicht produktiv, zum Ausprobieren und dann die Erfahrungen dort abzuholen. Dann im nächsten Schritt, wenn das erfolgreich ist, das Proof-</p>

Einfluss auf Prozesse und Organisation \ Während der Einführungsphase	
	of-Concept, dann im nächsten Schritt würde es schon Sinn machen, dann das mit einem wiederum motivierten und versuchsfreudigen Team auch produktiv auszuprobieren.
E3.56	Grundsätzlich denke ich schon, dass jetzt die Zeit ist, nach dem erfolgreichen Proof-of-Concept in die produktive Phase zu gehen.
E3.56	Erstens, extern Erfahrungen abholen, Referenzen abholen, dann Proof-of-Concept, rein theoretisch, nicht produktiv, und dann in mindestens ein produktives Projekt und dann auch immer die Erfahrung dann abzuholen.
E3.112	Und das Dritte, ein Versuchsprojekt. Das ist das Wichtigste, wenn das Versuchsprojekte zeigt, dass es funktioniert und das Management Unterstützung hat, das ist eine gute Voraussetzung.
E4.44	Wir versuchen das ganze Projekt mit dem Change-Management zu unterstützen, indem wir relativ viele Leute involvieren, bereits frühzeitig, damit die Leute auch mitgestalten können.
E4.78	Wir fokussieren uns auf Requirements Engineering, System, Architektur und System Testing, oder Verifizierung / Validierung. Und zu jedem haben wir Ziele definiert, was wir dort erreichen möchten.
E4.86	Der dritte Punkt ist, dass man einfach irgendwo einmal startet. Man muss irgendwo mit einem Piloten starten. Und mit diesem Piloten dann auch die Prozesse und Methoden verfeinert und dort muss man sich auch die Zeit lassen, um die Erfahrungen zu sammeln und dann die richtigen Schlüsse daraus zu ziehen.
E5.24	Ich glaube ich würde ein Pilotprojekt herauspicken, das relativ genau abstecken und dann mit einem Coach reinstürzen.
E5.42	Schlussendlich muss Systems Engineering in die Prozesslandschaft eingebunden werden. Das ist klar und dass kann natürlich am Anfang oder bei einem Piloten zu entsprechenden Fragen kommen, "Wo" und "Wie" und "Wer hat jetzt was beizutragen", weil man unter Umständen anderen Entwicklern eine gewisse Arbeit wegnimmt. Die müssten eingebunden werden, das sicher.
E6.42	Ich glaube prozessmässig ist vor allem das Thema, was als Output verlangt wird, die Deliverables. Die sind manchmal von früher her irgendwie inkompatibel, mit dem was man von Systems Engineering Seite her sehen würde. Das heisst nicht, dass die falsch sind, sondern es geht darum, dass die einzelnen Artefakte richtig sortiert. Das heisst, die gleiche Information möglicherweise in anderer Form aufbereitet. Bei uns ist so ein Beispiel, wir kennen sogenannten System- or Component Design Specification, das ist ein Dokument, das Anforderungen, Architekturbeschreibung und Projektbeschreibungen mischt.
E6.94	Es braucht Zeit. Das ist nicht eine Maschine, die man installieren und einschalten kann. Da muss man die Leute mitkriegen und das braucht Zeit. Ich glaube deswegen ist es auch wichtig, dass man keinen Big-Bang Approach anstrebt, sondern stückweise an einzelnen Orten beginnt und von da weg ausbreitet.

Einfluss auf Prozesse und Organisation \ Sobald sich Nutzen einstellt	
E1.110	Wenn man jetzt strukturiert vorgeht und diesen einen Prozess vorgibt, das könnte für die Organisation sehr interessant sein. Einerseits in der Produktentwicklung selbst, das da andere Division jetzt auch schauen, wie machen die das? Nicht ad-hoc Systems Engineering betreiben, wie wir das bis vor einigen Jahren auch immer so gemacht haben.
E2.30	Ich kann mir aber sehr wohl und durchaus vorstellen, dass es Einfluss hat, wenn es um Organisationskultur, um Verständnis bisheriger Rollen geht, die dann möglicherweise durch MBSE schon ein bisschen hinterfragt werden. Vor allem, weil ich die Stärke von Systems Engineering darin sehe, dass System als Ganzes anzusehen und dadurch automatisch diese cross-funktionale Denken, ich will nicht sagen, dass es schwimmt, aber man dann wirklich über die Disziplinengrenzen hinüber denkt und das ist nicht etwas, das so per se in der Kultur von jedem verankert ist.
E2.32	Ich sehe eher so, die Berücksichtigung von, wie ändern sich etablierte, bestehende Rolle im Zuge von MBSE.
E2.70	Momentan leider wir eher daran, dass wir ganz wenige Personen in der Organisation haben, denen wir zutrauen, einen Systemarchitektur zu machen und die auch geistig zu bewältigen und ich denke der positive Nutzen für die Organisation könnte sein, eben diese Multiplikation dieses Wissens, dieses mehr transparent machen des Systemverständnisses zu unterstützen und dadurch auch eine Organisation zu schaffen, die wesentlich robuster ist gegenüber ausfällen von Mitarbeitern oder Mitarbeiterabgängen

Einfluss auf Prozesse und Organisation \ Sobald sich Nutzen einstellt	
E3.104	Angenommen, wir machen Pilotprojekte mit der bestehenden Organisation, das heisst ohne Systems Engineering als Disziplin etabliert zu haben, dann wie gesagt, könnte ein sichtbarer Nutzen aus den Pilotprojekten helfen, die Organisation zu ändern. Das sehe ich schon so.
E4.40	Weil gerade die Transparenz wird massiv erhöht durch Systems Engineering und das ist ein Veränderungsprozess, damit die Leute auch vermehrt gezwungen sind aufzuzeigen, was sie mit ihrem Projekt erreichen möchten. Das wird die Kultur verändern.
E4.82	Im Moment haben wir einen Matrixorganisation. Wir sind uns am überlegen, wie wir genau die System Architekten oder System Ingenieure, wo dass wir diese in der Organisation platzieren möchten. Dort haben grundsätzlich zwei Ansätze, die wir am Anschauen sind. Einerseits in einem separaten Team von System Architekten oder vielleicht machen wir einen Fachabteilung daraus, die quer oder orthogonal zu Fachbereichen ist. Und so eine virtuelle Gruppe bilden. Im Moment würde ich einschätzen, dass wir in die Richtung gehen, dass wir eine separate Gruppe haben. Grundsätzlich werden wir die Projektarbeit fördern, aber das vor allem erst örtlich, dass wir die Projektteams in einem Projektraum zusammenziehen. Dort arbeiten. Ob daraus eine Projektorganisation entsteht, das wissen wir zum heutigen Zeitpunkt nicht.
E6.87	I: Hast du das Gefühl, MBSE wenn es Nutzen zeigt, wirkt sich auch auf die Organisation aus? E6: Ich denke, das wird sich auswirken, ja. Zum einen wird sich die Firma besser aufstellen können, das heisst sie müssen ja eigentlich Kapazität frei kriegen, um mehr Innovation zu schaffen, weil das Verständnis besser wird. Zum anderen ist es so, dass gewisse Königreiche wahrscheinlich in sich kollabieren würden. Das Wissen um das Produkte und Prozesse ist dann nicht mehr nur in einzelnen Köpfen, sondern das ist typischerweise dann mit Daten belegt und das kann man dann entsprechend brauchen. Ich denke auch die Einführung von neuen Mitarbeitern würde erleichtert, weil man besser darstellen kann, wie etwas funktioniert, weil man die entsprechenden Zugriffe über Modell, die verschiedenen Sichten besser zeigen kann.

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

CMMI	Capability Maturity Model Integration
DoDAF	Unified Profile for United States Department of Defense Architecture Framework
EFFBD	Enhanced FFBD
FFBD	Functional Flow Block Diagram
GfSE	Gesellschaft für Systems Engineering
ICD	Interface Communication Documents
IDEF0	Integration Definition for Function Modeling
INCOSE	International Council on Systems Engineering
KMU	Kleine und mittlere Unternehmen
KPI	Key Performance Indicator
MBSE	Modellbasiertes Systems Engineering (oder in Englisch: Model-Based Systems Engineering)
MODAF	United Kingdom Ministry of Defense Architecture Framework
NIST	National Institute of Standards and Technology
OMG	The Object Management Group
OPM	Object-Process Methodology
PLM	Produkt Lifecycle Management
PMO	Projektmanagement-Office
ROI	Return on Invest
SE	Systems Engineering
SEO	Systems Engineering Office
SysML	Systems Modelling Language
TdSE	Tag des Systems Engineering
UML	Unified Modelling Language
WOL	Web Ontology Language

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1-1: Hindernisse in der SE Anwendung (in Anlehnung an Gausemeier et al., 2013)	2
Abbildung 1-2: Aufbau der Masterarbeit.....	6
Abbildung 2-1: System Lifecycle Prozesse (in Anlehnung an ISO/IEC/IEEE 15288, 2015, S. 16)	11
Abbildung 2-2: Systemgrenzen von Systems Engineering, Systemimplementierung und Projekt- / Systemmanagement (in Anlehnung an BKCASE Editorial Board, 2017)	12
Abbildung 2-3: Komponenten des Systems Engineering (in Anlehnung an Haberfellner & Daenzer, 2002)	13
Abbildung 2-4: Vereinfachte Darstellung der beiden SYSMOD-Prozesse (in Anlehnung an Weilkens, 2016)	19
Abbildung 2-5: SysML Diagramm-Taxonomie (in Anlehnung an Friedenthal et al., 2015, S. 90)	21
Abbildung 2-6: Verbesserungsprozess für die Einführung von MBSE (in Anlehnung an Friedenthal et al., 2015).....	24
Abbildung 3-1: Ablauf einer Investitionsentscheidung (in Anlehnung an Schabacker, 2001, S. 14)	27
Abbildung 4-1: Zusammenhang von Requirements- und Architekturkompetenzen und der Projektperformance (in Anlehnung an Elm, 2011)	40
Abbildung 4-2: Nutzenpotenziale und Ausgaben über einen betrachteten Produktlebenszyklus (in Anlehnung an Feldhusen & Gebhardt, 2008, S. 247)	45
Abbildung 5-1: Erste Ebene des theoretischen Modells des Nutzens von MBSE (Eigendarstellung Bernd Walser)	49
Abbildung 5-2: Zweite Ebene des theoretischen Modells des Nutzens von MBSE (Eigendarstellung Bernd Walser)	50
Abbildung 7-1: Schematische Darstellung des qualitativen Forschungsprozess (vgl. Bortz & Döring, 2015, S. 27)	57
Abbildung 7-2 a) Vorbereiteter Raum, in welchem das World Café durchgeführt wird. b) Teilnehmer bei der Arbeit.	63
Abbildung 7-3: Beispiel eines Resultats aus dem World Café	63
Abbildung 7-4: Ablaufmodell der zusammenfassenden Inhaltsanalyse (in Anlehnung an Mayring, 2015)	73
Abbildung 8-1: Verschieden Kategorien von erwartetem Nutzen (Eigendarstellung Bernd Walser)	75
Abbildung 8-2: Kategorien möglicher Hindernisse bei der Einführung von MBSE (Eigendarstellung Bernd Walser)	77
Abbildung 8-3: Kategorien zur Messung des Nutzens von MBSE (Eigendarstellung Bernd Walser).....	79
Abbildung 8-4: Prozentuale Häufigkeit der verwendeten Codes.....	81
Abbildung 9-1: Nutzenmodell bezogen auf die Anwendung von MBSE im Einführungsprozess (Eigendarstellung Bernd Walser)	94

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 2-1: Übersicht über verschiedene MBSE Methoden (in Anlehnung an OMG, o.D.)	18
Tabelle 2-2: Übersicht der aktuell bekanntesten Modellierungswerkzeuge	23
Tabelle 2-3: Nutzenpotenziale von MBSE.....	26
Tabelle 7-1: Samplestruktur der geführten qualitativen Interviews	71
Tabelle 10-1: Handlungsempfehlungen für die praktische Umsetzung	105
Tabelle B-1: Übersicht der verwendetet online Ressourcen für die Literatursuche	111
Tabelle B-2: Übersicht der verwendetet Suchbegriffe.....	112
Tabelle C-1: Zusammenfassung der Beiträge zur Einführung von MBSE in einem Unternehmen	114
Tabelle C-2: Klassifizierung der Beiträge zur Analyse des Nutzens von MBSE für ein Unternehmen	117
Tabelle D-1: Stichprobe des World Cafés	118
Tabelle D-2: Aussagen aus dem World Café bezogen auf den Nutzen von MBSE	123
Tabelle D-3: Aussagen aus dem World Café bezogen auf Hindernisse, die den Nutzen MBSE einschränken können.....	125
Tabelle D-4: Aussagen aus dem World Café bezogen auf den messbaren Nutzen von MBSE	127

LITERATURVERZEICHNIS

- Aleksandraviciene, A. & Morkevicius, A. (2018). *MagicGrid® Book of Knowledge. A Practical Guide to Systems Modeling using MagicGrid from No Magic*. Kaunas: Vitae Litera.
- Alt, O. (2012). *Modellbasierte Systementwicklung. mit SysML*. München: Carl Hanser Verlag GmbH.
- Baur, N. & Blasius, J. (Hrsg.). (2014). *Handbuch Methoden der empirischen Sozialforschung*. Wiesbaden: Springer VS.
- Beasley, R. (2017). Realizing the Value of Systems Engineering. *INCOSE International Symposium*, 27(1), 1100–1113. <https://doi.org/10.1002/j.2334-5837.2017.00415.x>
- BKCASE Editorial Board (R.J. Cloutier (Editor in Chief). Hoboken, NJ: The Trustees of the Stevens Institute of Technology., Hrsg.). (2017). *The Guide to the Systems Engineering Body of Knowledge (SEBoK) [Homepage]* (v. 1.9.1), BKCASE is managed and maintained by the Stevens Institute of Technology Systems Engineering Research Center, the International Council on Systems Engineering, and the Institute of Electrical and Electronics Engineers Computer Society. Zugriff am 21.04.19. Verfügbar unter https://sebokwiki.org/wiki/Systems_Engineering_Management
- Bogner, A., Littig, B. & Menz, W. (2014). *Interviews mit Experten. Eine praxisorientierte Einführung* (Lehrbuch). Wiesbaden: Springer VS.
- Bortz, J. & Döring, N. (2015). *Forschungsmethoden und Evaluation. Für Human- und Sozialwissenschaftler* (Springer-Lehrbuch, 5. Aufl.). Berlin: Springer.
- Brown, J. & Isaacs, D. (2005). *The World Café: Shaping Our Futures Through Conversations that Matter*: Berrett-Koehler Publishers.
- Cantor, M. (2003). *Rational Unified Process® for Systems Engineering, RUP SE® Version 2.0*. IBM Rational Software white paper: IBM Corporation.
- Carroll, E. R. & Malins, R. J. (March, 2016). *Systematic Literature Review: How is Model Based Systems Engineering Justified?* Albuquerque, New Mexico: Sandia National Laboratories. Zugriff am 10.06.18. Verfügbar unter <https://www.incose.org/docs/default-source/enchantment/161109-carrolled-howismodel-basedsystemsengineeringjustified-researchreport.pdf?sfvrsn=2&sfvrsn=2>
- Chami, M., Aleksandraviciene, A., Morkevicius, A. & Bruel, J.-M. (2018). Towards Solving MBSE Adoption Challenges: The D3 MBSE Adoption Toolbox. *INCOSE International Symposium*, 28(1), 1463–1477. <https://doi.org/10.1002/j.2334-5837.2018.00561.x>

- Cloutier, R. (2015). Current Modeling Trends in Systems Engineering. *INSIGHT*, 18(2), 10–13. <https://doi.org/10.1002/inst.12013>
- Davis, F. D. (1989). Perceived Usefulness, Perceived Ease of Use, and User Acceptance of Information Technology. *MIS Quarterly*, 13(3), 319–340. <https://doi.org/10.2307/249008>
- Delligatti, L. (2014). *SysML distilled. A brief guide to the systems modeling language / Lenny Delligatti*. Upper Saddle River, NJ: Addison-Wesley.
- Dori, D. (2002). *Object-Process Methodology. A Holistic Systems Paradigm*. Berlin: Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-56209-9>
- Eigner, M. & Stelzer, R. (2009). *Product-Lifecycle-Management. Ein Leitfadens für Product-Development und Life-Cycle-Management (VDI, 2., neu bearb. Aufl.)*. Berlin: Springer.
- Elm, J. P. (2011). A Study of Systems Engineering Effectiveness: Building a Business Case for SE. *INCOSE International Symposium*, 21(1), 248–262. <https://doi.org/10.1002/j.2334-5837.2011.tb01203.x>
- Estefan, J. A. (2008). *Survey of Model-Based Systems Engineering (MBSE) Methodologies*. Rev B INCOSE Technical Publication, Document No. INCOSE-TD-2007-003-01 (Rev. B). San Diego, CA: International Council on Systems Engineering: Jet Propulsion Laboratory. Zugriff am 11.02.18.
- Feldhusen, J. & Gebhardt, B. (2008). *Product Lifecycle Management für die Praxis. Ein Leitfadens zur modularen Einführung, Umsetzung und praktischen Anwendung*. Berlin: Springer.
- Fernández, J. L. & Mármol, G. (2008). KR10 An Effective Collaboration of a Modeling Tool and a Simulation and Evaluation Framework. *INCOSE International Symposium*, 18(1), 1509–1522. <https://doi.org/10.1002/j.2334-5837.2008.tb00896.x>
- Ferrogallini, M. & Le Bastard, J. (2012). *Return of experience on the implementation of the system engineering approach at ALSTOM*. Complex System and Design Management 2012 International Conference, Paris (France).
- Flick, U. (2017). *Qualitative Sozialforschung. Eine Einführung* (Rororo Rowohlt's Enzyklopädie, Bd. 55694, 8. Auflage, Originalausgabe). Reinbek bei Hamburg: rowohlt's enzyklopädie im Rowohlt Taschenbuch Verlag.
- Franzen, T. (2015). Gedanken zur Einführung des System Engineering in mittelständische Unternehmen. In S.-O. Schulze & C. Tschirmer (Hrsg.), *Tag des Systems Engineering. Verteiltes Arbeiten mit ganzheitlicher Kontrolle* (1. Aufl., S. 195–204). s.l.: Carl Hanser Fachbuchverlag.

- Friedenthal, S., Moore, A. & Steiner, R. (2015). *A practical guide to SysML. The systems modeling language* (Third edition). Amsterdam: Elsevier MK Morgan Kaufmann is an imprint of Elsevier.
- Gausemeier, J., Czaja, A. M., Wiederkehr, O., Dumitrescu, R., Tschirner, C. & Steffen, D. (2013). *Studie: Systems Engineering in der industriellen Praxis*. Paderborn. Zugriff am 30.07.18. Verfügbar unter [https://www.iem.fraunhofer.de/content/dam/iem/de/documents/Studie Systems Engineering_deutsch.pdf](https://www.iem.fraunhofer.de/content/dam/iem/de/documents/Studie_Systems_Engineering_deutsch.pdf)
- Glaser, B. G. & Strauss, A. L. (1998). *Grounded theory. Strategien qualitativer Forschung* (Hans Huber Programmbereich Pflege). Bern: Huber.
- Haberfellner, R. & Daenzer, W. F. (Hrsg.). (2002). *Systems Engineering. Methodik und Praxis* (11., durchges. Aufl.). Zürich: Verl. Industrielle Organisation.
- Hinnen, H. & Krummenacher, P. (2017). *Großgruppen-Interventionen. Konflikte klären - Veränderungen anstoßen - Betroffene einbeziehen* (Systemisches Management). Stuttgart: Schäffer-Poeschel Verlag für Wirtschaft Steuern Recht GmbH.
- Hochstein, N., Krastel, M., Langlotz, M. & Trendel, O. (2015). Methode zur Wirtschaftlichkeitsbetrachtung der Einführung von Systems Engineering. In S.-O. Schulze & C. Tschirmer (Hrsg.), *Tag des Systems Engineering. Verteiltes Arbeiten mit ganzheitlicher Kontrolle* (1. Aufl., S. 185–193). s.l.: Carl Hanser Fachbuchverlag.
- Honour, E. C. (2013). *Systems engineering return on investment*. Dissertation. University of South Australia. Zugriff am 03.02.2018. Verfügbar unter <http://www.hcode.com/seroi/documents/SE-ROI%20Thesis-distrib.pdf>
- Huckriede, V., Joachim, B. & Storck, S. (2016). Systems Engineering im Maschinen- und Anlagenbau verstehen, anwenden und beherrschen. In S.-O. Schulze, C. Tschirner, R. Kaffenberger & S. Ackva (Hrsg.), *Tag des Systems Engineering* (S. 151–160). Herzogenaurach, 25.–27. Oktober 2016: Carl Hanser Verlag GmbH & Company KG. <https://doi.org/10.3139/9783446451414.015>
- Husung, S., Lindemann, G., Korobov, S., Hamester, M. & Kleiner, S. (2018). Use Case driven Model-based Systems Engineering for industrial applications. In *EMEA Sector Systems Engineering Conference*. Berlin, Germany.
- Hutchison, N., Wade, J. & Luna, S. (2017). The Roles of Systems Engineers Revisited. *INCOSE International Symposium*, 27(1), 200–213. <https://doi.org/10.1002/j.2334-5837.2017.00354.x>
- INCOSE. (o.D.). *What is Systems Engineering?* [Homepage]. Zugriff am 01.12.2018. Verfügbar unter <https://www.incose.org/systems-engineering>

- INCOSE. (2007). *Systems Engineering Vision 2020* (INCOSE-TP-2004-004-02). Verfügbar unter http://www.cose.org/media/upload/SEVision2020_20071003_v2_03.pdf
- INCOSE. (2014). *Systems Engineering Vision 2025: A World in Motion*. INCOSE. Verfügbar unter <https://www.incose.org/docs/default-source/aboutse/se-vision-2025.pdf>
- ISO/IEC/IEEE 15288. (2015). *Systems and software engineering-- System life cycle processes. Ingénierie des systèmes et du logiciel-- Processus du cycle de vie du système* (International standard, ISO/IEC/IEEE15288:2015(E)). New York: Institute of Electrical and Electronics Engineers.
- Iwanek, P., Kaiser, L., Dumitrescu, R. & Nyssen, A. (2013). Fachdisziplinübergreifende Systemmodellierung mechatronischer Systeme mit SysML und CONSENS. In M. Maurer & S.-O. Schulze (Hrsg.), *Tag des Systems Engineering* (S. 337–346). München: Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG. <https://doi.org/10.3139/9783446439467.032>
- Jackson, S. (2018, August). *What is a system and what is systems engineering?* INCOSE-LA Chapter Speaker Meeting fresh look at Systems Engineering, The aerospace Corp - El Segundo. Zugriff am 02.12.2018. Verfügbar unter https://www.incose.org/docs/default-source/default-document-library/fellows-initiative-on-system-and-se-definitions.pdf?sfvrsn=9b9d94c6_0
- Kleiner, S. & Husung, S. (2016). Model Based Systems Engineering: Prinzipien, Anwendung, Beispiele, Erfahrung und Nutzen aus Praxissicht. In S.-O. Schulze, C. Tschirner, R. Kaffenberger & S. Ackva (Hrsg.), *Tag des Systems Engineering* (S. 13–22). Herzogenaurach, 25.–27. Oktober 2016: Carl Hanser Verlag GmbH & Company KG. <https://doi.org/10.3139/9783446451414.002>
- Knop, C., Milewski, S., Völl, C. & Sannwaldt, F. (2016). Die Gestaltung eines Systems Engineering Office als zentrale Veränderungsinstanz bei der unternehmensweiten Einführung von Systems Engineering. In S.-O. Schulze, C. Tschirner, R. Kaffenberger & S. Ackva (Hrsg.), *Tag des Systems Engineering* (S. 141–150). Herzogenaurach, 25.–27. Oktober 2016: Carl Hanser Verlag GmbH & Company KG. <https://doi.org/10.3139/9783446451414.014>
- Kuckartz, U. (2018). *Qualitative Inhaltsanalyse. Methoden, Praxis, Computerunterstützung* (Grundlagentexte Methoden, 4. Auflage). Weinheim: BeltzJuventa.
- Lamm, J. G. & Weilkens, T. (2014). Method for Deriving Functional Architectures from Use Cases. *Systems Engineering*, 17(2), 225–236. <https://doi.org/10.1002/sys.21265>
- Lappe, M. & Spang, K. (2012). *Return on Investment (ROI) von Projektmanagement* (projektManagement aktuell Vol. 23.2012(2)). Köln: TÜV Media. Zugriff am 23.12.2018. Verfügbar unter [165](https://www.campana-</p></div><div data-bbox=)

schott.com/fileadmin/user_upload/PDFs/Publications/DE/CS-ROI_von_PM-PMAktuell_1204-DE.pdf

- Le Sergent, T., Dormoy, F. c. c.-X. & Le Guennec, A. (2016). Benefits of Model Based System Engineering for Avionics Systems. In *8th European Congress on Embedded Real Time Software and Systems (ERTS 2016)*. TOULOUSE, France. Verfügbar unter <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01291938>
- Madini, A. M. & Sievers, M. (2018). Model-based systems engineering: Motivation, current status, and research opportunities. *Systems Engineering*, 21(3), 172–190. <https://doi.org/10.1002/sys.21438>
- Martin, J. N. (1997). *Systems engineering guidebook. A process for developing systems and products / by James N. Martin* (Systems engineering series). Boca Raton, Fla.: CRC Press.
- Mayer, H. O. (2013). *Interview und schriftliche Befragung. Grundlagen und Methoden empirischer Sozialforschung* (6., überarbeitete Auflage). München: Oldenbourg Verlag.
- Mayring, P. (2015). *Qualitative Inhaltsanalyse. Grundlagen und Techniken* (12., überarbeitete Auflage). Weinheim: Beltz Verlag.
- Morkevicius, A., Aleksandraviciene, A., Mazeika, D., Bisikirskiene, L. & Strolia, Z. (2017). MBSE Grid: A Simplified SysML-Based Approach for Modeling Complex Systems. *INCOSE International Symposium*, 27(1), 136–150. <https://doi.org/10.1002/j.2334-5837.2017.00350.x>
- Object Management Group. (o.D.a). *SysML V2: The next-generation systems modelling language*. [Homepage], OMG. Zugriff am 08.12.2018. Verfügbar unter <http://www.omg.sysml.org/SysML-2.htm>
- Object Management Group. (o.D.b). *What is SysML?* [Homepage], OMG. Zugriff am 08.12.2018. Verfügbar unter <http://www.omg.sysml.org/what-is-sysml.htm>
- Object Management Group. (2017a). *OMG System Modeling Language Version 1.5*. OMG document formal/17-05-01, OMG. Zugriff am 11.08.18. Verfügbar unter <https://www.omg.org/spec/SysML/About-SysML/>
- Object Management Group. (2017b). *OMG Unified Modeling Language Version 2.5.1*. OMG document formal/17-12-05, OMG. Zugriff am 08.12.18. Verfügbar unter <https://www.omg.org/spec/UML/About-UML/>
- OMG. (o.D.). *Methodology and Metrics*. [MBSE Wiki]. Zugriff am 07.12.2018. Verfügbar unter http://www.omgwiki.org/MBSE/doku.php?id=mbse:methodology#mbse_benchmarking_survey
- Ortner, G. E. & Stur, B. (2015). *Das Projektmanagement-Office. Einführung und Nutzen* (2., überarb. Aufl.). Berlin: Springer Gabler. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-45277-6>

- Pearce, P. & Hause, M. C. (2012). ISO-15288 , OOSEM and Model-Based Submarine Design. Verfügbar unter <https://pdfs.semanticscholar.org/fd1b/206ed7ed1f9c8d63ae053880a9be9b6b348e.pdf>
- Rambo, J., Huwig, C., Langlotz, M. & Hämisch, R. (2016). Einschätzungen zum MBSE im Rahmen der Entwicklung komplexer Fahrzeugsysteme. In S.-O. Schulze, C. Tschirner, R. Kaffenberger & S. Ackva (Hrsg.), *Tag des Systems Engineering* (S. 1–12). Herzogenaurach, 25.–27. Oktober 2016: Carl Hanser Verlag GmbH & Company KG. <https://doi.org/10.3139/9783446451414.001>
- Ramos, A. L., Ferreira, J. V. & Barcelo, J. (2012). Model-Based Systems Engineering: An Emerging Approach for Modern Systems. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C (Applications and Reviews)*, 42(1), 101–111. <https://doi.org/10.1109/TSMCC.2011.2106495>
- Rosenow, H. (2018). *Trade Off Bewertungsmethodik für Tool- und Methodenentscheidungen zur Virtualisierung und Modellbasierung in der Entwicklung*. Masterarbeit. Technische Universität München, München.
- Schabacker, M. (2001). *Bewertung der Nutzen neuer Technologien in der Produktentwicklung*. Zugl.: Magdeburg, Univ., Fak. für Maschinenbau, Diss., 2001. Institut für Maschinenkonstruktion, Magdeburg.
- Schieffer, A., Isaacs, D. & Gyllenpalm, B. (2004). World Café: Kollektive Kreativität im Kommen. *Lernende Organisation, Nr. 20*, S. 40–47.
- Schindel, W. & Peterson, T. (2013). Introduction to Pattern-Based Systems Engineering (PBSE): Leveraging MBSE Techniques. *INCOSE International Symposium*, 23(1), 1639. <https://doi.org/10.1002/j.2334-5837.2013.tb03127.x>
- SEBoK. (2014, 4. Dezember). *Modeling Standards*. [Wiki]. Zugriff am 08.12.2018. Verfügbar unter http://www.sebokwiki.org/w/index.php?title=Modeling_Standards&oldid=50265
- Sheard, S. A. (1996a). Twelve Systems Engineering Roles. *INCOSE International Symposium*, 6(1), 478–485. <https://doi.org/10.1002/j.2334-5837.1996.tb02042.x>
- Sheard, S. A. (1996b). The Value of Twelve Systems Engineering Roles. *INCOSE International Symposium*, 6(1), 894–902. <https://doi.org/10.1002/j.2334-5837.1996.tb02100.x>
- Sheard, S. A. & Miller, C. (2000). The Shangri-La of ROI. In *Proceedings of the Tenth International Symposium of the International Council on Systems Engineering*. Brighton, England: Software Productivity Consortium NFP, Inc., 2000.
- Steffen, D., Enge, E., Schulze, S.-O. & Czaja, A. (2016). Pragmatisches Reifegradmodell zur Einführung von Systems Engineering. In S.-O. Schulze, C. Tschirner, R. Kaffenberger & S. Ackva (Hrsg.), *Tag des Systems Engineering* (S. 269–278). Herzogenaurach, 25.–27.

- Oktober 2016: Carl Hanser Verlag GmbH & Company KG.
<https://doi.org/10.3139/9783446451414.026>
- Steffen, D. & Schulze, S.-O. (2014). *Opportunity Fakten für Entscheider. Systems Engineering - Produktentwicklung erfindet sich neu*: Unity AG.
- Tommasi, C. & Vacca, E. (2014, 24. November). *How Model-Based SE Makes Product/System Lifecycle Management Framework More Effective*. © 2014 PTC Inc., Professional Paper.
- Voirin, J.-L. (2017). *Model-based system and architecture engineering with the ARCADIA method*. Amsterdam: Elsevier.
- Wagner, D. A., Bennett, M. B., Karban, R., Rouquette, N., Jenkins, S. & Ingham, M. (2012). An ontology for State Analysis: Formalizing the mapping to SysML. In *2012 IEEE Aerospace Conference. Big Sky, Montana, March 3-10, 2012* (S. 1–16). Piscataway, NJ: IEEE.
- Walden, D. D., Roedler, G. J., Forsberg, K., Hamelin, R. D. & Shortell, T. M. (2015). *Systems engineering handbook. A guide for system life cycle processes and activities / prepared by International Council on Systems Engineering (INCOSE) ; compiled and edited by David D. Walden, ESEP, Garry J. Roedler, ESEP, Kevin J. Forsberg, ESEP, R. Douglas Hamelin, Thomas M. Shortell, CSEP* (Fourth edition). Hoboken, New Jersey: Wiley.
- Weilkiens, T. (o.D.). *Popular SysML/MBSE Modeling Tools*. [Blog]. Zugriff am 01.12.2018.
Verfügbar unter <https://model-based-systems-engineering.com/sysml-tools/>
- Weilkiens, T. (2014). *Systems Engineering mit SysML/UML. Modellierung, Analyse, Design* (3., überarb. u. akt. Aufl., rev. Ausg.). Heidelberg, Neckar: dpunkt.
- Weilkiens, T. (2016). *SYSMOD - The Systems Modeling Toolbox - Pragmatic MBSE with SysML* (MBSE4U booklet series): Lulu.com.
- Weilkiens, T., Scheithauer, A., Di Maio, M. & Klusmann, N. (2016). Evaluating and comparing MBSE methodologies for practitioners. In I. I. S. o. S. Engineering (Hrsg.), *ISSE 2016, Edinburgh, Scotland. 2016 International Symposium on Systems Engineering : George Hotel, October 3-5, 2016 : proceedings papers* (S. 1–8). Piscataway, NJ: IEEE.
- The World Café Community Foundation. (2015). *Café to Go. A Quick Reference Guide for Hosting World Café*, The World Cafe. Verfügbar unter <http://www.theworldcafe.com/wp-content/uploads/2015/07/Cafe-To-Go-Revised.pdf>