

SYSTEMS ENGINEERING

Daniel Zielinski

**System of Systems Modellierung und
Bewertung fachlich abgegrenzter
industrieller Bereiche**



Herbert Utz Verlag · München

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

Zugleich: Dissertation, München, Techn. Univ., 2014

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte,
insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, der Entnahme von
Abbildungen, der Wiedergabe auf fotomechanischem oder ähnlichem Wege
und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen bleiben, auch bei nur
auszugsweiser Verwendung, vorbehalten.

Copyright © Herbert Utz Verlag GmbH · 2014

ISBN 978-3-8316-4407-0

Printed in Germany

Herbert Utz Verlag GmbH, München
Tel.: 089-277791-00 · www.utz.de

Vorwort

Eine einmalige Gelegenheit die Liebe zum Automobil mit der Faszination für Aerodynamik und den persönlichen Stärken im Bereich des Systems Engineering zu kombinieren. So lautete damals der zusammenfassende Satz meines Anschreibens an die BMW Group. Ein paar Jahre später lässt sich festhalten, dass die Aussagen immer noch zutreffen – vielleicht mehr denn je.

Im Projektmanagement beschreibt das Magische Dreieck die Wechselwirkungen zwischen den Aspekten Zeit, Kosten und Qualität. Es wird damit veranschaulicht, dass eine Steigerung in einem Bereich bei gleichbleibenden Rahmenbedingungen stets nur auf Kosten eines oder beider anderen möglich ist. In der persönlichen Wahrnehmung eines Dissertationsvorhabens dürften drei andere Dimensionen jedoch geeigneter sein, den ganzheitlichen Erfolg der Arbeit zu betrachten.

Die Forschung – Einen eigenen wissenschaftlichen Beitrag zum akademischen Themenfeld zu erbringen. Betrachtet man nun das Systems Engineering als den formalisierbaren Teil der Ingenieurskunst, ist zu bedenken, dass sich die darin angewendeten Grundprinzipien seit von Bertalanffy und Wiener nicht wirklich verändert haben. Somit wird schnell klar, dass man seine ganz persönliche, fachliche Nische finden und dennoch sicherstellen muss, dass diese einen sinnvollen Mehrwert für die fachliche Gemeinschaft bietet. Meinem Doktorvater Professor Eduard Igenbergs und den Mitgliedern der Prüfungskommission – Professor Horst Baier und Professor Christian Kähler – sei an dieser Stelle Dank dafür ausgesprochen, mich bei der Reise durch den akademischen Dschungel immer wieder auf den zielführenden Weg zurückgeleitet zu haben.

Die Firma – Das Für und Wider einer Industriepromotion ist selbst Anlass endloser Diskussion. Letztendlich geht es vor allem darum, für sich und seine Arbeit die bestmöglichen Voraussetzungen für Erfolg zu schaffen. Und so sehr man sich auch auf Grundlegendes besinnt und bestrebt ist, eine Fragestellung möglichst allgemeingültig zu beantworten, der Kontakt zur Anwendungsebene und das Erleben des tatsächlichen Erfolgs trägt wesentlich zur Motivation bei, das ansonsten oftmals abstrakte Vorhaben zu Ende zu führen. Entsprechend dankbar bin ich meinen Kollegen und insbesondere meinen Betreuern Dr. Ralf Petz und Dr. Marcus Engert für ihre anhaltende Unterstützung, die über simple Zusammenarbeit weit hinausging.

Die Familie – Verwandtschaft aber auch engster Freundeskreis sind der entscheidende Bestandteil des Privatlebens, welches sich idealerweise mit den beiden zuvor genannten

Lebensbereichen die Waage hält. Allzu oft passiert es jedoch, dass die beiden zuvor genannten dominieren und Freizeit und soziale Kontakte zu kurz kommen. Umso entscheidender sind daher die Menschen, die einen immer wieder daran erinnern, dass es neben der Arbeit auch noch andere Dinge gibt. Und es einem vor allem nicht übel nehmen, wenn es mal wieder etwas länger dauert, bis man diesen Dingen und ihnen die gebührende Wertschätzung/Aufmerksamkeit entgegenbringt.

Was bleibt ist die Freude, am Ziel angekommen zu sein. Und ein paar abschließende Worte an alle Leser, die sich zufällig oder in voller Absicht auf diese Seiten verirrt haben. Möge die ein oder andere interessante und/oder nützliche Information darunter sein. Sollte gar die Recherche für die eigene Arbeit ausschlaggebend sein, so finden sich hoffentlich auch ergänzende oder anregende Aspekte der Systemtheorie. In diesem Sinne viel Freude am Lesen und vor allem an den Grundprinzipien des Systems Engineering.

Abstrakt

Diese Dissertation betrachtet die Kombinationsmöglichkeiten zweier aktueller Strömungen der komplexen Systementwicklung. Es werden die Potentiale des Übergangs von anforderungszentrischer zu modellbasierter Systementwicklung analysiert. Dabei werden die Erkenntnisse der System of Systems Forschung zielführend eingebunden. Die gewonnenen Architekturprinzipien und Gestaltungsregeln werden durch Anwendung eines resultierenden generischen Systemmodells auf die operative Umgebung eines industriellen Forschungszentrums validiert.

Die besondere Herausforderung dieser Arbeit besteht in einer Umgebung, die unter SE-Sicht bisher nur mit geringer Aufmerksamkeit bedacht wurde. Der verwendete Ansatz konzentriert sich dabei auf die vor Ort dominierenden, individuellen fachlichen und methodischen Fähigkeiten. Bei dessen Ausgestaltung wird stets angestrebt, eine möglichst generische und dennoch praktische Lösung zu erzeugen. Bestehende und benötigte Wechselwirkungen zwischen speziellen Fähigkeiten erfordern neben der Analyse von Organisationsarchitekturen auch die Betrachtung zeitlicher Abläufe. In modernen, soziotechnischen Systemen nehmen Schnittstellen eine entscheidende Rolle ein. Jedoch können sie nicht mehr als strukturgebendes Rückgrat angesehen werden. Denn auch Strukturen eines Produktes sind über dessen Entstehungs- und Lebensphase einem beständigen Wandel unterworfen. All diesem Wandel zum Trotz müssen Informationen zwischen den verschiedenen Systemelementen zuverlässig ausgetauscht werden. Eine modellbasierte Analyse des Systemverhaltens muss aufbauend auf stabilen Basiselementen insbesondere die Dynamik des Systems widerspiegeln können.

Ein Aerodynamisches Versuchszentrum als abgegrenztes System innerhalb einer Entwicklungsorganisation zu betrachten hat akademische wie auch praktische Gründe. Die dort stattfindenden Aktivitäten zu Verifikation, Validierung und Test von Produkteigenschaften und -funktionen werden umfassend als Teil des Entwicklungsprozesses beschrieben. Jedoch werden dabei die Besonderheiten derartiger Organisationseinheiten außer Acht gelassen. Denn Betriebsaspekte werden stets nur aus Produkt- und Produktionssicht und nicht aus Absicherungssicht betrachtet. Die praktische Motivation für die Verwendung als Analyseobjekt ist die Tatsache, dass sich eine eindeutige Systemgrenze ziehen und das Zentrum ohne übermäßige Vereinfachung als eigenständiges Ganzes betrachtet werden kann. Beginnend mit der Inbetriebnahme wird der Übergang in den regulären Testbetrieb begleitet. Auf diese Weise kann das „Erwachsenwerden des Systems“ – das Beherrschen einer zunehmend schwierigeren Umwelt – mit Methoden und Werkzeugen des Systems Engineering begleitet und gefördert werden.

Inhaltsverzeichnis

Abstrakt	V
Abbildungsverzeichnis	XI
Tabellenverzeichnis	XIII
Abkürzungs- & Symbolverzeichnis	XV
1 Einleitung	1
1.1 Bedarf und Motivation	2
1.2 Ansätze und Ziele	3
1.3 Inhalt und Struktur der Arbeit	4
2 Entwicklungsorganisation	5
2.1 Organisation und Zusammenarbeit	5
2.1.1 Erfolgreiche Systementwicklung	6
2.1.2 Stellenwert der Innovation	7
2.1.3 Herausforderungen	7
2.2 Umgang mit Komplexität	8
2.2.1 Komplexität beherrschen	9
2.2.2 Definition als Referenzgröße	10
2.2.3 Bewertung von Komplexität	10
2.3 System of Systems	11
2.3.1 Konzeptioneller Rahmen	11
2.3.2 Charakteristika eines SoS	12
2.3.3 Soziotechnische Systeme	14
2.4 Informationsfluss im Netzwerk	15
2.4.1 Nutzerzentrierung	16
2.4.2 Kommunikation	17
2.4.3 Umgang mit Unsicherheit	17
3 Systemtheorie auf dem Prüfstand	19
3.1 Prinzip des Systemdenkens	19
3.1.1 Weltsicht Organisation	19
3.1.2 Umgang mit Information	20
3.1.3 Umgang mit Wissen	21

3.2	Systemtechnische Grundlagen	23
3.2.1	Systembetrachtung	24
3.2.2	Systemstrukturierung	25
3.2.3	Systemgestaltung	25
3.3	Systems Engineering	26
3.3.1	SE Definitionen	27
3.3.2	Angewandte Systemtechnik	27
3.3.3	Methoden und Werkzeuge	28
3.3.4	Innovation betreiben	29
3.4	System of Systems Engineering	30
3.4.1	Architektur	31
3.4.2	Kontrollmechanismen	32
3.4.3	Gestaltung eines Betriebsprozesses	33
3.5	Zusammenfassung der Erkenntnisse	34
4	Qualitatives Verständnismodell	35
4.1	Modelle als Systembeschreibung	35
4.1.1	Systemdefinition	36
4.1.2	Formen der Abbildung	37
4.1.3	Formen der Gestaltung	37
4.1.4	Komposition einer SoS Betrachtung	38
4.2	Model Based Systems Engineering	39
4.2.1	Einigung auf Standards	40
4.2.2	Bekannte Systemmodelle	41
4.2.3	Modellbasierte Systemgestaltung	42
4.3	Systemdekomposition & -analyse	43
4.3.1	Situation	44
4.3.2	Prioritäten	44
4.3.3	Prozesse	45
4.3.4	Teams	46
4.4	Integration als Verständnismodell	47
4.4.1	Abbildung als SoS	48
4.4.2	Elementare Bausteine eines SoS	48
4.4.3	Hierarchische Struktur	49
4.5	Zusammenfassung der Erkenntnisse	51
5	Quantitatives Erkenntnismodell	55
5.1	Generisches Grundprinzip	55
5.1.1	Abhängigkeitsgefüge	56
5.1.2	Metriken und Kennzahlen	59
5.2	Repräsentative Information	63
5.2.1	Repräsentative Informationstheorie	63
5.2.2	Berechnung der Repräsentativen Information	64
5.2.3	Übertrag auf Teamarbeit	66

5.2.4	Grenzwertbetrachtung fachlicher Hierarchie	68
5.3	Strukturelle Systemgüte	71
5.3.1	Potentieller Erfolg	72
5.3.2	Notwendiger Aufwand	73
5.3.3	Grenzen der Nutzwertanalyse	75
5.4	Zusammenfassung der Erkenntnisse	76
6	Heuristische Prozessbetrachtung	77
6.1	Gestaltung des Simulationsmodells	77
6.1.1	Prozessarchitektur	78
6.1.2	Grundelemente	80
6.2	Implementierung & Simulation	81
6.2.1	SimEvents Modell	81
6.2.2	Modellarchitektur	82
6.2.3	Strukturelemente	82
6.2.4	Eingangsgrößen der Simulation	84
6.2.5	Ablauf der Simulation	85
6.3	Kombinierte Modellauswertung	86
6.3.1	Ergebnisse aus Projektsicht	86
6.3.2	Ergebnisse aus Periodensicht	90
6.3.3	Gesamtgüte des SoS	92
6.4	Zusammenfassung der Erkenntnisse	95
7	Fazit	97
7.1	Zusammenfassung der Ergebnisse	97
7.2	Offene Handlungsfelder	99
Literaturverzeichnis		101

Abbildungsverzeichnis

3.1	Wissenstreppe	22
3.2	Generierung von Wissen	23
3.3	Systemtechnischer Problemlösungszyklus	30
4.1	Systemdefinition	36
4.2	Grundsätzliche Systemdefinitionen	39
4.3	Dynamik des Umwelteinflusses und Prozesspriorität	46
4.4	Hierarchie der Grundbausteine	50
4.5	Aufgabe je Team und Phase	53
5.1	Teilmatrix der Aufgabe „Versuchsdurchführung leiten“	67
5.2	Partielle Invertierung der Fähigkeiten	67
6.1	Ebenen der Prozessarchitektur	79
6.2	Modellarchitektur in SimEvents	83
6.3	Ergebnismatrizen eines Simulationslaufes	87
6.4	Verlauf der Güterwerte des Projektes	89
6.5	Verlauf der Periodendauer mit optimalem Bereich	91
6.6	Verlauf der SoS-Güterwerte mit optimalem Bereich	94

Tabellenverzeichnis

4.1	Fähigkeiten je Team	51
4.2	Tätigkeiten je Team	52
5.1	Grad an Souveränität der Fähigkeiten	57
5.2	Wechselwirkung der Fähigkeiten	58
5.3	Fähigkeiten- und Kostenaufwand je Tätigkeit	59
5.4	Abhängigkeit der Aufgaben	60
5.5	Erfolgseinfluss der Aufgaben	62
5.6	Menge an Information einer Tätigkeit über ihre Aufgabe	68
5.7	Repräsentativität der Tätigkeiten	69
5.8	Fähigkeitsmatrix eines Fachteams	70
5.9	RI-Werte des Fachteams	70
5.10	Fähigkeitsmatrix eines Projektteams	70
5.11	RI-Werte des Projektteam	70
5.12	Nutzenmatrix des betrachteten Prozesssystems	73
5.13	Aufwandsmatrix des betrachteten Prozesssystems	75
6.1	Normierte Nutzungskosten erforderlicher Ressourcen	88
6.2	Projektgüte in Abhängigkeit der Eingangsgrößen	89
6.3	Periodendauer [h] in Abhängigkeit der Eingangsgrößen	91
6.4	SoS-Güte in Abhängigkeit der Eingangsgrößen	94

Abkürzungs- & Symbolverzeichnis

$\hat{\partial}/\hat{\partial}x_i$	Diskrete partielle Ableitung
\hbar_O	Informationsmenge über eine Kategorie
Φ	Invarianz einer Kategorie
Ψ	Strukturelle Komplexität einer Kategorie
ψ	Subjektive strukturelle Komplexität einer Kategorie
A_A	Aufwand der Ausführung einer Aufgabe
$A_{I,kl}$	Informatorische Abhängigkeit einer Aufgabe von anderen
C	Kategorie (von Elementen)
d	Anzahl der Dimensionen einer Kategorie
D_A	Dauer der Ausführung einer Aufgabe
E_S	operativer Erfolg eines Systems
$F(x_i)$	Konzeptfunktion mit i Dimensionen
f_{ii}	Zuordnungsvorschrift für Systeme der 2. Betrachtungsebene
$F_{P,k}$	Personelle Fähigkeit für eine Aufgabe
$G_{S,per}$	Periodengüte eines Systems
$G_{S,pro}$	Projektgüte eines Systems
G_S	Güte eines Systems

$h(x)$	Informationsinhalt eines Ereignisses x
k	Anzahl der Aufgaben eines Systems
K_R	Nutzungskosten von Ressourcen
K_S	operative Kosten eines Systems
L	Reduzierte Kategorie
$N_{A,k,nom}$	Nomineller Nutzwert einer Aufgabe
N_A	Nutzen einer ausgeführten Aufgabe
O_i	System einer 1. Betrachtungsebene
p	Anzahl der Elemente einer Kategorie
$p(x)$	Eintrittswahrscheinlichkeit eines Ereignisses x
P_{ii}	System einer 2. Betrachtungsebene
Q_A	Qualität einer ausgeführten Aufgabe
R	Element einer Kategorie
RI	Repräsentative Information
S_D^{γ}	Komplexitätsbeitrag der Systemdynamik
S_K^{β}	Komplexitätsbeitrag der Systemkonnektivität
S_V^{α}	Komplexitätsbeitrag der Systemvarietät
S_{EK}	Eigenkomplexität
T_{SN}	Souveränitätsniveau einer Tätigkeit
U	Ursprungsmenge mit zu repräsentierenden Informationen
$W_{F,ij}$	Wechselwirkung zwischen zwei Fähigkeiten

$W_{I,k}$	Gewichtungsfaktor einer Aufgabe
ABM	Activity-Based Methodology
BMW	Bayerische Motoren Werke
CAD	Computer-Aided Design
CFD	Computational Fluid Dynamics
DIN	Deutsches Institut für Normung
DNA	Desoxyribonukleinsäure
DoD	(United States) Department of Defense
DoDAF	Department of Defense Architecture Framework
ES	Engineering Systems
ES-MDM	Engineering Systems Multiple Domain Matrix
ESD	Engineering Systems Division
HHM	Hierarchical Holographic Modeling
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
INCOSE	International Council on Systems Engineering
IPO	Input – Prozess – Output
ISO	International Organization for Standardization
KPI	Key Performance Indicator
LTS	Large Technological Systems
MBSE	Model Based Systems Engineering
MIT	Massachusetts Institute of Technology

MOEs	Measures of Effectiveness
MOSE	Measures of Systems Effectiveness
OEM	Original Equipment Manufacturer
PSM	Phantom System Models
RIT	Repräsentative Informationstheorie
SE	Systems Engineering
SEBoK	Systems Engineering Book of Knowledge
SNA	Soziale Netzwerkanalyse
SOS	System of Systems
SOSE	System of Systems Engineering
STS	Soziotechnisches System
SysML	System Modelling Language
TPM	Technical Performance Measures
TUM	Technische Universität München
UML	Unified Modeling Language
VVTPM	Verification Validation & Testing Process Model
ZOPH	Ziel-,Objekt-,Prozess-,Handlungssystem

1 Einleitung

Automobilhersteller sehen sich bei der Entwicklung und Einführung neuer Produkte mit immer größer werdenden Anforderungen konfrontiert. Als Reaktion auf einen zunehmend volatilen Markt, sowie sich immer schneller ändernde Kundenwünsche erhöhen automobile OEMs nicht nur die Anzahl ihrer Produktvarianten. Diese werden zudem mit einer steigenden Bandbreite an Eigenschaften und Funktionen in immer kürzeren Abständen angeboten. Dass die dabei entstehenden Kosten und Umweltbelastungen im Sinne der Nachhaltigkeit möglichst gering gehalten werden sollen, sorgt für zusätzliche Anspannung. Eine Antwort auf diese Herausforderungen sind hochkomplexe Entwicklungsprozesse mit einer Vielzahl interdependenter und der kontinuierlichen Abstimmung bedürftiger Einzelaktivitäten (vgl. Schulz [2002]). Um hierbei die Qualität von Prozess und Produkt frühzeitig und durchgängig zu gewährleisten, stellen integrierte Absicherungsprozesse einen elementaren Parallelzweig (vgl. Wenzel [2002]) der Entwicklung dar.

Das von der „Rule of ten“ abgeleitete Frontloading verlangt bereits zu einem frühen Zeitpunkt fundierte Produktinformationen als Entscheidungsgrundlage (vgl. Fricke [1998]). Deshalb wird verstärkt auf virtuelle Gestaltung und Absicherung von Produkten und ihren Eigenschaften zurückgegriffen. Den entscheidenden Schritt jeder Absicherung stellt dennoch weiterhin der Hardwaretest dar. Und in einigen Bereichen (wie z.B. der Aerodynamik) sind Hardwareversuche der Simulation nicht nur hinsichtlich Aussagekraft (Absolutwerte), sondern auch bezüglich Schnelligkeit und Kosten noch immer überlegen. Konsequenterweise steigen somit auch die Anforderungen an die entsprechenden Versuchs- und Absicherungszentren. Der vollständige Umfang der Produktpalette muss darstellbar sein. Dabei sollen Effektivität und Effizienz der Betriebsprozesse kontinuierlich verbessert werden. Aus der Vielzahl von Varianten, die unterschiedlichen Testszenarien unterzogen und je nach Anforderung mit einer variablen Menge von Messsystemen kombiniert werden müssen, erwächst eine erhebliche Systemkomplexität.

Bei einem modernen Versuchszentrum handelt es sich um mehr als ein kompliziertes technisches System. Für einen erfolgreichen Betrieb sind die Interaktion zwischen Mensch und Maschine ebenso entscheidend wie die sozialen Wechselwirkungen. Innerhalb dieses soziotechnischen Systems müssen sich immer wieder anforderungsinduzierte Gruppierungen ausbilden. Diese bearbeiten konkrete Aufgaben/Probleme und lösen die vorübergehende Zusammengehörigkeit anschließend wieder auf. Heterogene fachliche Hintergründe, sich widersprechende Ziele und unterschiedliche Zeithorizonte stellen ein solch hardwarenahes Entwicklungssystem täglich neu auf die Probe. Missverständnisse

und Unsicherheiten behindern die erfolgreiche Interaktion der Beteiligten. Erst wenn diese überwunden werden, kann aus individuellen oder gar konkurrierenden Aktivitäten eine zielgerichtete Zusammenarbeit entstehen.

1.1 Bedarf und Motivation

In der Produktentstehung beschreiben die Absicherungsaktivitäten den „Graubereich“ zwischen Entwicklung und Produktion. Entwicklungsarbeit ist naturgemäß mit Unsicherheit (Unterschied zwischen geplantem und vorhandenem Entwicklungsstand) behaftet, die durch entsprechende Maßnahmen und Methoden beherrscht wird. Auf der anderen Seite sind Produktionsprozesse weitestgehend standardisiert, um die kostengünstige und termingerechte Herstellung des Produktes mit gleichbleibend hoher Qualität sicherzustellen. Die Prozesse in einem Versuchszentrum bilden eine Schnittmenge dieser Bereiche. Ein Teil der Aktivitäten stellt einmalige oder äußerst seltene Reaktionen auf spezielle Probleme oder außergewöhnliche Ziele dar. Ein anderer muss zuverlässig belastbare Ergebnisse produzieren und demzufolge möglichst einheitlich und damit reproduzierbar gestaltet werden. Dieses Spannungsfeld zwischen standardisierter Projekt- und individueller Periodenarbeit gilt es in Einklang zu bringen. Eine methodische Betrachtung muss vor allem der damit einhergehenden Heterogenität bezüglich Ziel, Zeithorizont, (fachlichem) Hintergrund, Vorgehensweisen und Werkzeugen gerecht werden.

Unterschiedliche Erwartungshaltungen und ein häufig begrenztes Verständnis für die Aufgaben und Tätigkeiten der Prozesspartner führen zu Abstimmungsproblemen. Geringe Erfahrung mit den technischen Möglichkeiten und Eigenheiten einer neu in Betrieb genommenen Anlage sowie kontinuierliche Anpassungen im Rahmen von Fehlerbehebung und Optimierung erzeugen wiederum ein Gefühl der Unsicherheit. Der bewährte Expertenansatz mit stark personalisiertem Wissen, erfüllt die gesteigerten Anforderungen (Vollständigkeit, Verfügbarkeit und Aktualität von Wissen) nur unzureichend. Erforderlich ist ein strukturierter und ganzheitlicher Ansatz zum Aufbau detaillierten Systemverständnisses. Vorhandene Erkenntnisse müssen zielführend eingesetzt werden und allen betroffenen Parteien zur Verfügung stehen. Auf diese Weise können die Effizienz des operativen Betriebs sowie die Effektivität im Umgang mit den Ergebnissen gesteigert werden. Die dieser Arbeit zugrunde liegende Motivation lässt sich daher mit folgenden Aussagen formulieren.

- Eine ganzheitliche Systembetrachtung soll das Verständnis komplexer Verhältnisse und Vorgänge industrieller Absicherungsaktivitäten verbessern.
- Ist die wechselseitige Abhängigkeit heterogener Fachbereiche identifiziert, lässt sich der Informationsaustausch zwischen diesen effizienter und effektiver gestalten.
- Werden die Aufgaben von kurzfristigen Anforderungen bis hin zu langfristigen Zielsetzungen mit einem angemessenen Maß an Beachtung umgesetzt, lässt sich in Forschungszentren ein nachhaltiger Erkenntnisgewinn etablieren.

Da strukturelle Veränderungen stets mit erheblichem Aufwand verbunden sind, sollten diese bei den gewählten Ansätzen zur Gestaltung dieser Aussagen nach Möglichkeit auf ein Minimum reduziert werden.

1.2 Ansätze und Ziele

Forschungsfragen auf dem Gebiet des Systems Engineering werden sich laut [INCOSE, 2007] in den nächsten Jahren in die sich ergänzenden Bereiche der *Spezialthemen* und der *ganzheitlichen Theorien* unterteilen. Analog werden zunächst Umfänge betrachtet, welche Probleme des „Ganzen“ industrieller Systeme betreffen. Ist für die abstrahierte und verallgemeinerte Betrachtung eine Lösung gefunden, wird darauf aufbauend eine um entsprechende Details erweiterte Speziallösung eines konkreten Anwendungsfalls entwickelt. Es wird eine Möglichkeit aufgezeigt, unterschiedliche Aktivitäten auf Basis grundsätzlicher Gemeinsamkeiten in einem ganzheitlichen Modell abbilden zu können. Dabei soll sowohl die Arbeit innerhalb einer einzelnen Organisationseinheit, als auch die Zusammenarbeit aller am Betrieb beteiligten Organisationseinheiten auf ihre Güte hin untersucht werden können. Ein weiteres Ziel ist die Bereitstellung einer Methode zur quantitativen Analyse der Verständlichkeit einzelner Elemente eines Prozesssystems durch die Prozesspartner.

Grundlegende Erkenntnisse der allgemeinen Systemtheorie werden mit geeigneten Trends, Methoden und Tools des Systems Engineering kombiniert. Dieser Ansatz soll ermöglichen die komplexe Interaktion spezifischer Entwicklungstätigkeiten zu dokumentieren und zu analysieren. Dabei müssen variierende technologische und soziologische Abhängigkeiten der sich kontinuierlich verändernden Entwicklungsarbeit angemessen berücksichtigt werden. Für jedes System – natürlich oder künstlich – existiert eine kritische Größe, ab der seine Funktionalität störanfällig wird (vgl. [Wiener, 1965]). Ein bewährter Lösungsansatz ist, das System in Module mit hoher interner Kohäsion und geringer externer Kopplung¹ zu untergliedern. Das Prinzip der Modularisierung kann dabei nicht nur auf entwickeltes und entwickelndes System angewandt werden. Die verwendeten Gestaltungselemente (Denkansätze und Prinzipien des Systems Engineering) müssen für einer Integration als *System of Systems Gestaltungsmethode* kompatibel und hierarchisch strukturierbar sein.

Erfolgreiche Zusammenarbeit setzt neben der grundsätzlichen Bereitschaft der Beteiligten vor allem ein gegenseitiges Verständnis voraus. Individuelle und gemeinsame Aufgaben müssen so aufeinander abgestimmt werden, dass sowohl einzelne Ziele als auch globale Herausforderungen möglichst vollständig erfüllt werden können. Eine besondere Schwierigkeit besteht in Aufgaben mit hoher inhaltlicher Abhängigkeit bei geringer fachlicher/methodischer Ähnlichkeit. Trotz etablierter und nur bedingt veränderbarer Organisationsstrukturen muss das darin agierende Entwicklungssystem dem beständigen

¹„[M]aximize internal cohesion, minimize external coupling“ [Alexander, 1964]

Wechsel von funktionalen Anforderungen und inhaltlichen Abhängigkeiten gerecht werden. Die zentralen Ziele der Arbeit finden sich somit in den folgenden Forschungsfragen wieder.

1. Welche Merkmale zeichnen systemtechnische Ansätze aus, die für die mit der Behandlung als System of Systems einhergehenden Notwendigkeit für Flexibilität im Detail und Homogenität im Ganzen in Frage kommen?
2. Können Systemeigenschaften und -verhalten des operativen Betriebs eines industriellen Forschungszentrums samt seiner fachlichen Vielfalt systemtechnisch erfasst und somit das Verständnis für einzelne Bereiche und das Gesamtsystem gesteigert werden?
3. Ist es möglich, die komplexen Wechselwirkungen eines System of Systems mit einer überschaubaren Menge an Grundprinzipien abzubilden und Gestalt und Verhalten des Systems qualitativ zu bewerten?
4. Ist ein System von Modellen in der Lage, die verschiedenen Perspektiven, Prioritäten und Praktiken so aufeinander abzustimmen, dass wirkungsvolle Stellhebel identifiziert werden können, mit denen sich sowohl die Qualität der Einzelbeiträge als auch der Erfolg des Gesamtsystems steigern lässt?

1.3 Inhalt und Struktur der Arbeit

Beginnend mit einer möglichst allgemeinen Betrachtung von Problemen und entsprechenden Lösungsansätzen rund um das Thema Systeme in Kapitel 2 erfolgt eine kontinuierliche Eingrenzung und somit Vertiefung der fachlichen Umfänge. Von den Ansätzen der allgemeinen Systemtheorie ausgehend werden in Kapitel 3 aktuelle Methoden und Prinzipien in der speziellen ingenieurtechnischen Ausprägung des Systems Engineering untersucht, welche sich mit dynamischen Organisationen befassen. Eine nicht auf das Systems Engineering begrenzte, aber definitiv für diese Disziplin charakteristische Methode ist die Modellierung. Diese zur Einschränkung umfangreicher Probleme und somit für deren Lösung unerlässliche Vorgehensweise wird in Kapitel 4 unter verschiedenen, für die Behandlung von System of Systems relevanten, Perspektiven betrachtet. Die im Zuge dessen gewonnenen Erkenntnisse werden verwendet, um ein qualitatives Modell zum besseren Verständnis der vielfältigen Aspekte rund um derartige Systeme zu erzeugen. Darauf aufbauend entsteht in Kapitel 5 ein quantitatives Modell, mit dessen Hilfe sowohl die Kommunikation innerhalb und zwischen den Beteiligten verbessert, als auch die Effizienz ihrer Zusammenarbeit gesteigert werden soll. Schließlich münden all diese Elemente und Erkenntnisse in ein Simulationsmodell, mit dessen Hilfe in Kapitel 6 das Verhalten des Systemverbundes unter operativen Bedingungen nachgebildet wird. Somit kann eine Aussage über mögliche Verbesserungspotentiale im Falle konkreter Rahmenbedingungen getroffen werden.

Systems Engineering

herausgegeben von
Prof. Dr. Eduard Igenbergs, TU München
Dr. Herbert Negele, BMW
Dr. Ernst Fricke, BMW

- Daniel Zielinski: **System of Systems Modellierung und Bewertung fachlich abgegrenzter industrieller Bereiche**
2014 · 134 Seiten · ISBN 978-3-8316-4407-0
- Herbert Negele: **Systemtechnische Methodik zur ganzheitlichen Modellierung am Beispiel der integrierten Produktentwicklung** · frühere Ausgabe: ISBN 978-3-8316-0384-8 · 3., unveränderte Auflage
2014 · 208 Seiten · ISBN 978-3-8316-8041-2
- Martin Wilke: **Integrierter modellbasierter Satellitenentwurf**
2002 · 173 Seiten · ISBN 978-3-8316-0159-2
- Armin Peter Schulz: **Systemtechnische Gestaltung der Informationsarchitektur im Entwicklungsprozess**
2002 · 240 Seiten · ISBN 978-3-8316-0147-9
- Florian Harzenetter: **Synthese von Systemarchitekturen aus funktionalen Anforderungen**
2002 · 201 Seiten · ISBN 978-3-8316-0127-1
- Stefan Wenzel: **Organisation und Methodenauswahl in der Produktentwicklung**
2003 · 214 Seiten · ISBN 978-3-8316-0119-6
- Andreas Vollerthun: **Integration von Konzeptentwurf und Marketing**
2001 · 206 Seiten · ISBN 978-3-8316-0074-8
- Oliver Quirnbach: **Integration der System- und Kostenentwicklung am Beispiel eines Satellitensystems**
2001 · 142 Seiten · ISBN 978-3-8316-0019-9
- Pamela Andrea Wehlitz: **Nutzenorientierte Einführung eines Produktdatenmanagement-Systems**
2000 · 178 Seiten · ISBN 978-3-89675-876-7
- Christian Walther: **Systemtechnische Zusammenhänge zwischen Eigenschaften und Funktionen großer Systeme** · Methoden zur Darstellung von Änderungswirkungen
2001 · 164 Seiten · ISBN 978-3-89675-816-3

Erhältlich im Buchhandel oder direkt beim Verlag:
Herbert Utz Verlag GmbH, München
089-277791-00 · info@utzverlag.de

Gesamtverzeichnis mit mehr als 3000 lieferbaren Titeln: www.utzverlag.de