

Daniel Motus

**Referenzmodell für die Montageplanung
in der Automobilindustrie**



Herbert Utz Verlag · München

Informatik

Band 87

Zugl.: Diss., Magdeburg, Univ., 2008

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

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.

Coverabbildung: © Philippe Minisini – Fotolia.com

Copyright © Herbert Utz Verlag GmbH · 2009

ISBN 978-3-8316-0860-7

Printed in Germany
Herbert Utz Verlag GmbH, München
089-277791-00 · www.utzverlag.de

Vorwort

Die vorliegende Arbeit entstand im Rahmen meiner Tätigkeit in der Technologie Montage der BMW Group in München in enger Zusammenarbeit mit der Arbeitsgruppe Rechnerunterstützte Ingenieursysteme am Institut für Technische und Betriebliche Informationssysteme der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg.

Motiviert wurde die Bearbeitung somit aus praktischen Problemstellungen, die sich bei der Mitwirkung in Projekten zur Entwicklung beziehungsweise Einführung von Prozessen, Methoden und Informationssystemen in der Praxis ergeben haben. Das Abfassen einer Dissertation – auch in der Industrie – ist eine zeitaufwändige Angelegenheit. Sie kann nicht im sog. „stillen Kämmerlein“ erfolgen, sondern erfordert regen Gedankenaustausch in einem motivierenden Arbeitsumfeld sowie Rücksichtnahme und Verständnis im Privaten.

Ich danke...

Prof. Dr. *Georg Paul* für die Bereitschaft zur Betreuung dieser Arbeit. Er hat durch sein Engagement, Verständnis und konstruktive Kritik die Verknüpfung von Wissenschaft und Praxis ermöglicht;

Prof. Dr. *Reiner Dumke* von der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg und Prof. Dr. *Martin Eigner* von der Technischen Universität Kaiserslautern für die Übernahme der Koreferate, sowie Prof. Dr. *Edgar Nett* und Prof. Dr. *Claus Rautenstrauch* für Ihre Mitwirkung in der Promotionskommission;

allen *Kollegen* im Produktionsnetzwerk der BMW Group, auf deren Expertenwissen und Erfahrungen ich beim Verfassen dieser Arbeit zurückgreifen durfte, unter anderem *Marcus Liertz, Thorsten Schlatter, Rainer Bohrer* und Dr. *Michael Reske*;

den *Studenten*, die mir durch ihre praktischen Tätigkeiten den Rücken freigehalten oder mich durch Ihre Studien- und Diplomarbeiten bei der Realisierung dieser Arbeit unterstützt haben;

meiner *Familie*, insbesondere meinen *Eltern, Schwiegereltern, Großmüttern* und *Schwestern* für die langjährige Unterstützung während Studium und Promotion;

meiner Frau *Simone*, die mich in den letzten Jahren mit einer Mischung aus Ansporn, Geduld und Verständnis begleitete - und dadurch einen größeren Anteil an dieser Arbeit hat, als sie vermutet.

Außerdem danke ich *Björn Sommer, Bernhard Sieber, Michael Scheuchl, Steffen Thorhauer, Jörg Wittmann* und allen *Freunden*, die auf unterschiedliche Weise zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben.

Daniel Motus

Gersthofen, im Oktober 2008

Abstract

Das Automobil stellt das komplexeste Konsumgut dar. Die Montage und die Planung der Montageprozesse in der Automobilindustrie sind ebenfalls durch eine sehr hohe Komplexität gekennzeichnet. Diese wird durch ein wachsendes Produktportfolio, steigende Produktfunktionalität, internationale Produktionsnetzwerke und Veränderungen in der Gesamtwertschöpfungskette noch erhöht. Ohne den Einsatz rechnerunterstützter Ingenieursysteme wäre diese Gesamtkomplexität nicht mehr beherrschbar.

Im Software-Entwicklungsprozess nehmen Modelle eine entscheidende Bedeutung ein. Sie ermöglichen u. a. die Übersetzung von Anforderungen zu Lösungen. Die vorliegende Arbeit verfolgt das Ziel, ein wieder verwendbares Modell für den unternehmensübergreifenden Einsatz in der Montageplanung der Automobilindustrie bereitzustellen. Dazu ist aus der Wirtschaftsinformatik das Konzept der Referenzmodellierung bekannt, das auf die Besonderheiten der Ingenieurinformatik adaptiert wird. Ein Rahmenkonzept für die Konstruktion von Referenzmodellen für die Entwicklung rechnerunterstützter Ingenieursysteme bildet die Grundlage für die anschließende Entwicklung des Referenzmodells. Dabei werden die Phasen Konstruktion des Referenzmodells, Wiederverwendung des Referenzmodells und Entwicklung von rechnerunterstützten Ingenieursystemen unterschieden.

Bei der Entwicklung des Referenzmodells werden bestehende Ansätze aus der Literatur genutzt und durch Konzepte zum Umgang mit den oben genannten Herausforderungen ergänzt. Die Charakteristiken der Montageplanung, Prozessorientierung, Produktkomplexität, Integrationsaspekt und Parallelität werden ebenfalls berücksichtigt.

Das konstruierte Referenzmodell besteht aus folgenden Elementen:

- Referenzmodell-Struktur
- Referenz-Prozessmodell
- Referenz-Objektmodell
- Entscheidungstabelle mit unternehmensinternen Einflussgrößen
- Vorgehensmodell zur Ableitung spezifischer Modelle
- Vorschlag für eine Softwarearchitektur im Referenzmodellkontext

In einer Fallstudie bei der BMW Group wird aus dem konstruierten Referenzmodell ein spezifisches Modell für die kontinuierliche Verbesserung der Montageplanung abgeleitet und prototypenhaft als Individualsoftware umgesetzt.

Das entwickelte Referenzmodell führt somit verschiedene Konzepte aus der Informatik und den Ingenieurwissenschaften im Sinne der Ingenieurinformatik zusammen und enthält praktische Gestaltungsempfehlungen, die durch Anwendung bei einem Automobilhersteller verifiziert und validiert werden konnten.

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	I
Abstract	II
Inhaltsverzeichnis	III
Abbildungsverzeichnis	VII
Tabellenverzeichnis	IX
Abkürzungsverzeichnis	X
1 Einleitung	1
1.1 Ausgangssituation	1
1.2 Hypothesen und Zielsetzung	4
1.3 Aufgabenstellung und Aufbau der Arbeit	6
2 Wissenschaftliche Grundlagen	9
2.1 Begriffsklärung	9
2.1.1 Allgemeiner Modellbegriff	9
2.1.2 Der Begriff Referenzmodell	12
2.1.3 Montageplanung in der Automobilindustrie	14
2.2 Forschungsmethodischer Rahmen	14
3 Stand der Forschung und Technik	18
3.1 Referenzmodellierung	18
3.1.1 Einsatzgebiete und Nutzen des Konzepts der Referenzmodellierung	18
3.1.2 Einordnung in Vorgehensmodelle des Software Engineering	20
3.1.3 Ähnliche Konzepte mit dem Ziel der Wiederverwendbarkeit	26
3.1.4 Anforderungen an die Modellqualität	28
3.1.5 Wiederverwendbarkeit von Referenzmodellen	31
3.1.6 Vorgehensmodell für die Referenzmodellierung	32
3.1.7 Zwischenbetrachtung: Bestätigung Hypothese 1	33
3.2 Montageplanung	34
3.2.1 Einordnung in den Produktentstehungsprozess	34
3.2.2 Aufgaben der Montageplanung in der Automobilindustrie	35
3.2.3 Ziele der Montageplanung in der Automobilindustrie	39
3.2.4 Charakteristiken der Montageplanung in der Automobilindustrie	40
3.3 Referenzmodelle im Kontext Montageplanung	42
3.3.1 Vorgehensweise bei der Erhebung und Bewertung	43
3.3.2 Bewertungsmethodik	44
3.3.3 Ergebnisse der Bewertung	45
3.4 Zwischenbetrachtung	47

3.4.1	Bestätigung Hypothese 2	47
3.4.2	Bestätigung Hypothese 3	47
4	Rahmenkonzept für die Konstruktion von Referenzmodellen für die Entwicklung rechnerunterstützter Ingenieursysteme.....	48
4.1	Besonderheiten von Referenzmodellen für die Entwicklung rechnerunterstützter Ingenieursysteme	48
4.2	Überblick über die Elemente von Referenzmodellen für die Entwicklung rechnerunterstützter Ingenieursysteme	49
4.3	Vorgehensmodell.....	50
4.3.1	Zielsetzung und Inhalte des Vorgehensmodells.....	50
4.3.2	Phase 1: Konstruktion des Referenzmodells.....	52
4.3.3	Phase 2: Wiederverwendung des Referenzmodells.....	52
4.3.4	Phase 3: Entwicklung rechnerunterstützter Ingenieursysteme.....	53
4.4	Referenz-Prozessmodell	55
4.4.1	Ziel und Inhalte des Prozessmodells.....	55
4.4.2	Verwendung des Prozessmodells	57
4.4.3	Modularisierung des Prozessmodells durch Referenz-Prozessbausteine	58
4.4.4	Referenz-Prozessfälle	59
4.4.5	Vorschlag einer Modellierungsmethode	59
4.5	Referenz-Objektmodell.....	63
4.5.1	Zielsetzung und Inhalte des Objektmodells.....	63
4.5.2	Verwendung des Referenz-Objektmodells.....	64
4.5.3	Vorschlag einer Modellierungssprache	65
4.6	Referenzmodellstruktur	67
4.6.1	Ziel und Inhalte der Referenzmodellstruktur.....	67
4.6.2	Vorschlag zur praktischen Gestaltung der Referenzmodellstruktur	68
4.7	Zwischenbetrachtung: Bestätigung Hypothese 4	68
5	Konstruktion des Referenzmodells	69
5.1	Definition der Planungsmethode	69
5.1.1	Inhaltliche und zeitliche Einordnung in den Produktentstehungsprozess.....	69
5.1.2	Prämissen für die Planungsmethode.....	70
5.1.3	Überblick über die definierte Planungsmethode.....	73
5.1.4	Planungsmethode in der Initialphase	75
5.1.5	Planungsmethode in der Phase Grobplanung.....	76
5.1.6	Planungsmethode in der Phase Feinplanung.....	81
5.2	Das M-Modell für die Montageplanung.....	87
5.3	Referenz-Prozessmodell für die Montageplanung	89
5.3.1	Prozesskategorien.....	89
5.3.2	Prozessbausteine	89
5.3.3	Exemplarischer Prozessbaustein: MP 04 Erstellen Montageprozessdokumentation	91
5.3.4	Funktionssicht.....	92
5.3.5	Organisationssicht.....	92

5.4	Referenz-Prozessfälle für die Montageplanung	93
5.5	Referenz-Objektmodell für die Montageplanung	95
5.5.1	Die Produktstruktur	97
5.5.2	Die Prozessstruktur	98
5.5.3	Die Produkt-Prozess-Elemente	99
5.5.4	Montagevorgang (MVG)	100
5.5.5	Bewertungsumfang (BU)	102
5.5.6	Prozesskommunalität	105
5.5.7	Verknüpfung von Anbauteil und Montagevorgang	107
5.5.8	Betriebsmittel und Anlagen	110
5.5.9	Materialbereitstellung	111
5.5.10	Betriebswirtschaftliche Bewertung	112
5.6	Zwischenbetrachtung: Bestätigung Hypothese 5	114
6	Wiederverwendung des Referenzmodells	115
6.1	Grundsätzliche Vorgehensweise	115
6.2	Unternehmensinterne Einflussgrößen	116
6.3	Entscheidungstabelle	117
6.4	Vorgehensmodell	118
6.5	Fallstudie: Ableitung eines Modells BAMUN	121
7	Softwarearchitektur im Referenzmodellkontext	128
7.1	Verteilte Web-Anwendung	128
7.2	Three-Tier-Architektur	130
7.2.1	Client-Tier: Präsentationsschicht	132
7.2.2	Server-Tier: Logikschicht	132
7.2.3	Data-Tier: Datenschicht	133
7.3	Technologie-Empfehlung	133
7.3.1	Servlets	133
7.3.2	Java Server Pages (JSP)	134
7.3.3	Beans	135
7.3.4	JDBC	135
7.3.5	Datenbanken	136
7.4	Softwarearchitektur für die Montageplanung in der Automobilindustrie	137
8	Fallstudie Entwicklung eines Informationssystems	140
8.1	Referenzmodell als Basis für die Informationssystementwicklung	140
8.1.1	Abgeleiteter Prozessfall	140
8.1.2	Abgeleitetes Objektmodell	143
8.1.3	Anwendung der Systemarchitektur	144
8.2	Prototypenerstellung	152
8.2.1	Präsentation	152
8.2.2	Logik	154
8.2.3	Daten	159

8.3	Validation.....	160
8.4	Modifikation	161
8.5	Ergebnisse der Umsetzung	161
9	Schlussbetrachtung und Ausblick	162
	Anhang A: Gegenüberstellung der Hypothesen und Ergebnisse dieser Arbeit.	164
	Anhang B: Referenz-Objektmodell	165
	Anhang C: Referenz-Prozessmodell.....	166
	Anhang D: Zugriffskontrolle	167
	Anhang E: Nutzerverwaltung.....	168
	Anhang F: Eingabemaske des Prototypen.....	169
	Anhang G: Sicht auf ein Auswertungsergebnis	170
	Literaturverzeichnis.....	171
	Veröffentlichungen	185

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Steigende Gesamtkomplexität für die Planung von Produktionsprozessen.....	2
Abbildung 2: Schema eines Softwareentwicklungsprozesses [NaRa-69]	3
Abbildung 3: Aufbau der Arbeit.....	8
Abbildung 4: Objekt, Subjekt und Modell [Wys-04].....	10
Abbildung 5: Original-Modell-Abbildung [Sta-73].....	11
Abbildung 6: Systematisierung möglicher Deutungen des Referenzmodellbegriffs [nach FL-04c]	13
Abbildung 7: Forschungsmethodischer Rahmen dieser Arbeit.....	15
Abbildung 8: Wasserfallmodell [in Anlehnung an Dum-03].....	20
Abbildung 9: V-Modell [in Anlehnung an Dum-03].....	21
Abbildung 10: Spiralmodell	22
Abbildung 11: Evolutionäres Prototyping.....	23
Abbildung 12: Abgrenzung der Grundsätze Richtigkeit und Relevanz	29
Abbildung 13: Vorgehensmodell für die Referenzmodellierung [Har-94].....	32
Abbildung 14: Kreislauf von Produktentstehung und Produktmarkt nach [SpKr-97]	35
Abbildung 15: Hierarchie der Montagefunktionen nach [DIN 85 933].....	36
Abbildung 16: Planungsmethode nach Schuster [Schu92].....	37
Abbildung 17: Einordnung der Montageplanung in die Arbeitsvorbereitung in Anlehnung an [Eve-89] inklusive Kernfunktionen der Montageplanung.....	39
Abbildung 18: Flexibilität und Marktorientierung der Montage [WBHZ-01].....	40
Abbildung 19: Charakteristiken der Montageplanung in der Automobilindustrie	42
Abbildung 20: Bewertungsmethodik für die Untersuchung des Referenzmodellbestandes	45
Abbildung 21: Beispielbewertungsbogen für [Har-01]	46
Abbildung 22: Referenzmodellierung in verschiedenen Informatikdisziplinen	48
Abbildung 23: Elemente von Referenzmodellen für die Entwicklung rechnerunterstützter Ingenieursysteme.....	50
Abbildung 24: Phasen der Referenzmodellierung	51
Abbildung 25: Phase 1: Konstruktion des Referenzmodells	52
Abbildung 26: Phase 2: Wiederverwendbarkeitsentwurf	53
Abbildung 27: Phase 3: Entwicklung rechnerunterstützter Ingenieursysteme	54
Abbildung 28: Sichten auf einen Geschäftsprozess	56
Abbildung 29: Positionierung des Informationsbegriffs nach [Bro-03] und [Teu-99].....	64
Abbildung 30: Planungsphasen: vom Groben ins Feine.....	70
Abbildung 31: Arbeitsweisen der Konstruktion und der Montageplanung heute	71
Abbildung 32: Übersicht über die Planungsmethode.....	74
Abbildung 33: Planungsmethode in der Initialphase.....	75
Abbildung 34: Planungsmethode in der Phase Grobplanung	77
Abbildung 35: Start der Montageprozessdokumentation: Übernahme / Neuanlage von Montagevorgängen	79
Abbildung 36: Erweiterung um Werksausprägungen	81
Abbildung 37: Planungsmethode in der Phase Feinplanung.....	82

Abbildung 38: Varianten der Fortschreibung der Montageprozessdokumentation	83
Abbildung 39: Abbildung unterschiedlicher Kommunalitätsarten	85
Abbildung 40: Struktur des Referenzmodells: Das M-Referenzmodell	88
Abbildung 41: Zeitliche und inhaltliche Einordnung der Prozessbausteine	90
Abbildung 42: Referenz-Prozessfall: Kontinuierliche Verbesserung	94
Abbildung 43: Arbeitsweisen der Konstruktion und der Montageplanung	96
Abbildung 44: Produktstruktur einer Lenkung in einem PDM-System (SAP iPPE)	97
Abbildung 45: Prozessstruktur	99
Abbildung 46: Beispiel Produkt-Prozess-Elemente	99
Abbildung 47: Datendurchgängigkeit über alle Phasen und Prozesskategorien	100
Abbildung 48: Referenz-Objektmodell für den Montagevorgang (MVG)	102
Abbildung 49: Referenz-Objektmodell für den Bewertungsumfang (BU)	104
Abbildung 50: Kommunalität durch Nutzung MVG-Head und MVG-Body	106
Abbildung 51: Produktreferenzmodell nach STEP AP214 [Dyl-02]	109
Abbildung 52: Anbindungskonzept an die Produktstruktur über STEP AP214	110
Abbildung 53: Abbildung von Betriebsmitteln	111
Abbildung 54: Bereitstellplanung	112
Abbildung 55: Betriebswirtschaftliche Bewertung	113
Abbildung 56: Maßnahmen zur Wiederverwendung des Prozessmodells	115
Abbildung 57: Auszug aus einer Entscheidungstabelle	118
Abbildung 58: Vorgehensmodell zur Wiederverwendung des Referenzmodells	120
Abbildung 59: Montageeffektivität und –effizienz, [FGSW-04]	126
Abbildung 60: Dokumentation des abgeleiteten spezifischen Modells	127
Abbildung 61: Three-Tier-Architektur	131
Abbildung 62: Request und Response bei HTTP [Wil-01]	132
Abbildung 63: Das Model-View-Controller-Muster [TSS-01]	133
Abbildung 64: Darstellung von Tabellen im Relationenmodell [HS-00]	136
Abbildung 65: Softwarearchitektur für die Montageplanung in der Automobilindustrie	138
Abbildung 66: Abzubildender Kernprozess aus dem Prozessmodell	141
Abbildung 67: Übersicht über die funktionalen Anforderungen	142
Abbildung 68: Klassendiagramm: Geschäftsobjekte für die Systementwicklung	144
Abbildung 69: Übersicht über die wesentlichen Prozesse der Zielapplikation	145
Abbildung 70: Aufgabenbereiche und Komponenten der Zielapplikation	147
Abbildung 71: 3-Tier-Architektur der Zielapplikation	148
Abbildung 72: Architekturmodell der Zielapplikation	150
Abbildung 73: Vorgehensweise bei der Implementierung des Informationssystems ..	151
Abbildung 74: Navigationsdiagramm des Prototyps	153
Abbildung 75: Beispiel: Seitenaufbau der Hauptseite	154
Abbildung 76: Aufbau der Logikschicht	156
Abbildung 77: Sequenzdiagramm: Anfragebeantwortung mit Datenmodellerzeugung	157
Abbildung 78: Detaillierung der Analyse	158
Abbildung 79: Aktivitätsdiagramm: Ausführung der Auswertung	159

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: IT-Artefakte	16
Tabelle 2: Übersicht über Vorgehensmodelle beim Software Engineering und Nutzen der Referenzmodellierung	25
Tabelle 3: Grundgesamtheit der Erhebung des Referenzmodellbestandes	43
Tabelle 4: Bewertungsschema für die untersuchten Referenzmodelle	45
Tabelle 5: Zuordnung der Phasen im Vorgehensmodell nach [Sch-01] zum hier vorgestellten Vorgehensmodell	51
Tabelle 6: Die für diese Arbeit relevanten ARIS-Symbole der Sichten	62
Tabelle 7: Graphentheorie	63
Tabelle 8: Modellierungsebenen für UML	66
Tabelle 9: Elemente und Symbole im Klassendiagramm nach [Rum-91] und [Bal- 96]	66
Tabelle 10: Prozessbaustein MP 04 Erstellen Montageprozessdokumentation	91
Tabelle 11: Beispiel: Auszug aus der Rollenbeschreibung Prozessplaner	92
Tabelle 12: Beispiel: Kategorisierung der MTM Analysecodefamilien	95
Tabelle 13: Objekte der Produktstruktur nach [ISO 10303-214]	108
Tabelle 14: Unternehmensinterne Einflussgrößen	117
Tabelle 15: Anwendungsschritte zur Ableitung eines spezifischen Modells am Beispiel „Kontinuierliche Verbesserung“ bei der BMW Group	121
Tabelle 16: Relevante unternehmensinterne Einflussgrößen am Beispiel BMW Group	122
Tabelle 17: Mögliche Aufgabenverteilung zwischen Client und Server	130
Tabelle 18: Anforderungsanalyse	143

1 Einleitung

„Ein halbes Jahrtausend nach Gutenberg ist nicht der Mangel, sondern der Überfluß an Information unser größtes Problem.“ [Dor-94]

1.1 Ausgangssituation

Die Komplexität bei der Produktion moderner Automobile wäre ohne den Einsatz rechnerunterstützter Ingenieursysteme nicht mehr beherrschbar. Einer der größten Komplexitätstreiber ist dabei der sich stetig verschärfende globale Wettbewerb [Uhl-98], der zu einem stetig steigenden Drang nach Differenzierung durch Individualisierung der Fahrzeuge führt [MS-06]. Dadurch ist der Erfolg eines Fahrzeugmodells kaum noch vorauszusehen, eine rasche Reaktionsfähigkeit ist daher Voraussetzung für den Erfolg. Das bedeutet, dass sich in Zukunft die Produktlebenszyklen weiter verkürzen, während sich die Anforderungen an die Produktionssysteme und Prozesse hinsichtlich ihrer Flexibilität rasant entwickeln [WW-00].

Das Kennzeichen für diese Entwicklung ist ein stark ansteigendes Produktportfolio der Fahrzeughersteller. Die BMW Group verfügte beispielsweise in den 80er Jahren des letzten Jahrhunderts über nur vier unterschiedliche Modelle, während es heute bereits 16 verschiedene Modelle bei steigender Tendenz sind. Hinzu kommt ein Anstieg der Komplexität durch gestiegene Funktionalität. Unterschiedlichste Fahrzeugfunktionen werden mittlerweile elektronisch gesteuert. Neue Leichtbauwerkstoffe und Fahrzeugkomponenten – wie beispielsweise retractable Hardtops – erfordern auf Produktionsseite die Bewältigung von vielfältigen technischen Problemen. Die Planer der Produktionsprozesse müssen sich daher auf technische Themen fokussieren können und dazu gleichzeitig bei der Bewältigung von Routineaufgaben entlastet werden.

Durch die Globalisierung ist zusätzlich ein Trend zur Bildung immer komplexerer internationaler Produktionsnetzwerke zu beobachten. Die Zusammenarbeit in diesen Netzwerken ist durch kulturelle, sprachliche und entfernungsabhängige Hürden gekennzeichnet. Ein Fahrzeugmodell wird häufig in verschiedenen Werken hergestellt – und innerhalb eines Werkes werden häufig verschiedene Fahrzeugmodelle produziert. Die Fähigkeit zur schnellen und flexiblen Anpassung des Produktionsnetzwerks an sich verändernde Rahmenbedingungen ist dadurch unabdingbar.

Die Ausweitung des Produktportfolios in Kombination mit dem Anstieg der Fahrzeugfunktionen führt zu einer Veränderung in der Wertschöpfungskette. Die vom Verband der Automobilindustrie (VDA) herausgegebene Studie HAWK 2015 [VDA-2003] sieht eine kontinuierliche Verlagerung der Wertschöpfung von den Automobilherstellern zu den Lieferanten. Der Anteil der Fahrzeughersteller an der Gesamtwertschöpfung wird von heute 35 auf 25 Prozent im Jahr 2015 sinken. Das bedeutet, dass das Produkti-

onsnetzwerk um ein ständig wachsendes Lieferantennetzwerk – und damit letztendlich auch ein Logistiknetzwerk ergänzt wird.

Die aufgeführten Faktoren führen zu einer kontinuierlich ansteigenden Gesamtkomplexität für die Planung der Produktionsprozesse (Abbildung 1), insbesondere wenn dabei berücksichtigt wird, dass die Planungskapazitäten nicht mit der ansteigenden Komplexität Schritt halten konnten. Vor diesem Hintergrund sind die Unternehmen gezwungen, die Prozesse der Produktentwicklung und –fertigung durch einen effizienten Einsatz von technischen und organisatorischen Hilfsmitteln zu rationalisieren [GG-97].

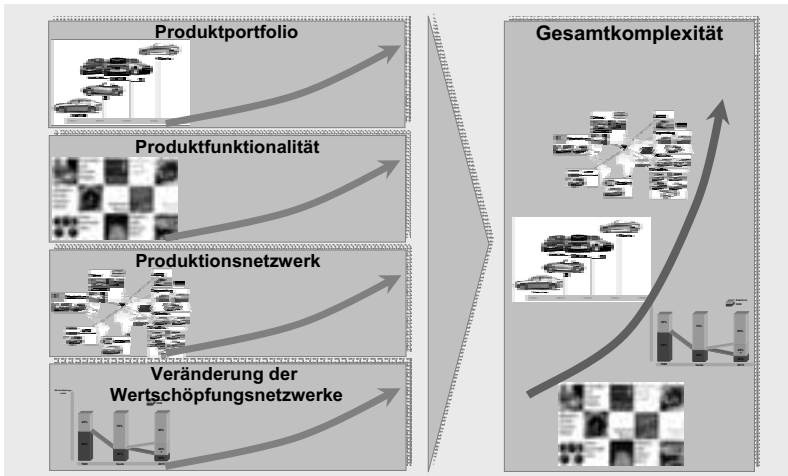


Abbildung 1: Steigende Gesamtkomplexität für die Planung von Produktionsprozessen

Davon sind alle Phasen im Lebenszyklus eines Produkts betroffen. [VDI-2221] versteht darunter die Phasen Planung, Entwicklung, Fertigung, Vertrieb, Gebrauch und Aufbereitung. Insbesondere der Planung kommt dabei eine wichtige Rolle zu, da dort zwar nur 12 Prozent der Kosten direkt verursacht, aber bereits 75 Prozent der Gesamtkosten verantwortet werden [Lot-92]. In besonderem Maße trifft dies auf die Montageplanung zu. Die aus der Strategie der Differenzierung durch Individualisierung abgeleitete große Zahl an unterschiedlichen Fahrzeugvarianten – beispielsweise 10^{32} bei der BMW Group [Mot-05] – entstehen zum Großteil erst in der Montage.

Um die Dynamik und Komplexität unter diesen Gesichtspunkten zu beherrschen, muss die Entwicklung von Informationssystemen der raschen Ausweitung und Änderung des Informationsbedarfes nachkommen [Bro-03]. Die Entwicklung leistungsfähiger Informationssysteme ist deshalb der Beitrag der Ingenieurinformatik zur Beherrschung der Gesamtkomplexität. Aus der Vielzahl der dabei zum Einsatz kommenden Informationssysteme und der unterschiedlichen unternehmensabhängigen Ausprägungen in den Planungsprozessen resultiert der Bedarf nach Reproduzierbarkeit und Allgemeingültigkeit von Entwicklungsergebnissen.

Im Rahmen des Software Engineering hat die Modellierung vor allem im Rahmen der Anforderungsanalyse für die Entwicklung von Software bedeutende Konsequenzen für die darauf folgende Softwareentwicklung. Schon 1968 wurde auf der „NATO Software Engineering Conference“ in Garmisch der Begriff der „Softwarekrise“ geprägt [NaRa-69]. Im Kern ist diese bis heute andauernde Diskussion [siehe u. a. Luc-75, LyHi-87, Gib-94, Bou-97, Jia-99] neben Sicherheitsaspekten, beispielsweise für Luft- und Raumfahrt, auf die Qualität von Software fokussiert. Dies schlägt sich direkt auf die Kosten für die Softwareentwicklung nieder. Insbesondere geht es um die Vermeidung von ungeplanten Kosten, die durch fehlerbehaftete Softwareentwicklung entstehen [Wys-04]. Als Lösungsansatz wurde auf der NATO Conference ein Phasenmodell des Softwareentwicklungsprozesses präsentiert (Abbildung 2).

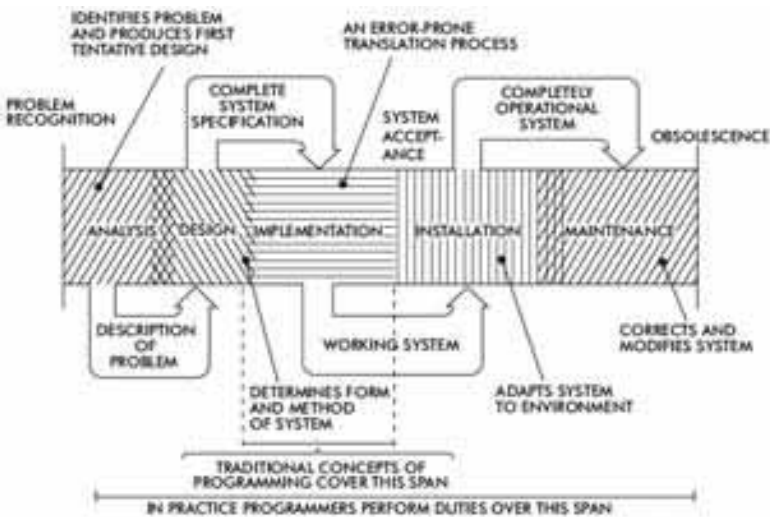


Abbildung 2: Schema eines Softwareentwicklungsprozesses [NaRa-69]

Die Softwareentwicklung wurde darin nicht nur als aus den Phasen „Design“, „Implementation“ und „Installation“ bestehend betrachtet, sondern umfasste gleichberechtigt die Phasen „Analysis“ und „Maintenance“. Die Anforderungsanalyse ist somit ein Teil der Softwareentwicklung. Die Implementierung wird dabei als Prozess der „Übersetzung“ (engl. „translation“) von Spezifikationen aus der Designphase in programmiersprachliche Artefakte verstanden. Eine Übersetzung steht jedoch schon am Anfang der Softwareentwicklung, bei der Erkennung des Problems und kennzeichnet auch grundsätzlich den Übergang zwischen den Phasen „Analysis“, Design“ und „Implementation“. Der Begriff der „Übersetzung“ bedeutet somit also „Modellierung“ und die Ergebnisse des Entwicklungsprozesses - Problembeschreibung und Systemspezifikation - sind dementsprechend Modelle [Wys-04].

Die Modellierung hat demzufolge einen besonderen Stellenwert im Rahmen der Softwareentwicklung. Einen vielversprechenden Ansatz, wiederverwendbare Modelle für den unternehmensübergreifenden Einsatz zu realisieren, bildet das Konzept der Referenzmodellierung [Sch-02, BSGI-99]. Dabei werden Modelle konstruiert, die stellvertretend für einzelne Anwendungen repräsentative Inhalte beschreiben, wodurch für die Wissenschaft als auch für die Unternehmenspraxis ein Lösungsbeitrag zur Problemstellung geleistet wird [Bro-03]. Die vorliegenden Ansätze verfolgen dabei vornehmlich das Ziel, betriebswirtschaftliche Standardsoftware zu konfigurieren beziehungsweise unternehmensindividuelle Modelle als Basis für Individualsoftware abzuleiten. Ein Ansatz für die Nutzung bei der Entwicklung von rechnerunterstützten Ingenieursystemen ist in der Literatur bisher nicht zu finden.

1.2 Hypothesen und Zielsetzung

Aus der geschilderten Ausgangssituation wird im Folgenden eine Basisthese abgeleitet, die durch fünf Hypothesen detailliert wird, aus denen wiederum die Ziele dieser Arbeit hervorgehen.

Basisthese dieser Arbeit:

Ein Referenzmodell unterstützt die effektive und effiziente Montageplanung und stellt damit eine geeignete Möglichkeit dar, reproduzierbare und allgemeingültige Ansätze für eine Klasse von Unternehmen zur Bewältigung der zentralen Herausforderungen der Automobilindustrie bereit zu stellen.

Aus der hier formulierten Basisthese leitet sich die Gesamtzielsetzung dieser Arbeit ab: Die Konstruktion eines Referenzmodells auf fachkonzeptioneller Ebene für die Montageplanung in der Automobilindustrie mit dem Ziel reproduzierbare und allgemeingültige Aussagen für die Entwicklung von rechnerunterstützten Ingenieursystemen, im speziellen für die Montageplanung zu treffen. Die folgenden Hypothesen dienen zur Detaillierung der Basisthese.

Hypothese 1:

Das Konzept der Referenzmodellierung bildet eine geeignete Möglichkeit, Entwicklungsprozesse von rechnerunterstützten Ingenieursystemen methodisch zu unterstützen.

In der Wirtschaftsinformatik und im praktischen Einsatz hat sich das Konzept der Referenzmodellierung als geeignete Methode etabliert, unternehmensunabhängige, wieder verwendbare Modelle für die Gestaltung von betrieblichen Informationssystemen bereitzustellen. Dieses Konzept soll auf eine Einsatzmöglichkeit innerhalb der Ingenieurinformatik überprüft und zu einem theoretischen Gesamtrahmenkonzept adaptiert und weiterentwickelt werden.

Hypothese 2:

In der Literatur ist die Montageplanung ausschließlich im Bereich der Ingenieurwissenschaften beschrieben. Ein umfassendes Konzept, mit Fokus auf der Entwicklung von rechnerunterstützten Ingenieursystemen, liegt nicht vor.

Die bestehenden Ansätze zur Montageplanung in der Automobilindustrie haben eher eine methodische als eine informationstechnische Ausrichtung. Das im Rahmen dieser Arbeit zu konstruierende Referenzmodell soll deshalb primär für die Entwicklung von Informationssystemen eingesetzt werden.

Hypothese 3:

Es gibt Referenzmodelle, welche für die Montageplanung in der Automobilindustrie zum Einsatz kommen können. Diese sind jedoch nach Art und Umfang nicht geeignet, ohne größeren Adaptionen- und Detaillierungsaufwand für die Bewältigung der genannten Herausforderungen eingesetzt zu werden.

Deshalb soll ein Überblick über den Referenzmodellbestand gegeben werden, der potenziell für die Montageplanung in der Automobilindustrie adaptiert werden könnte. In der Literatur sind nur wenige Beiträge zu finden, die sich explizit mit der Montageplanung auseinandersetzen. Es soll ein Überblick über den Bestand an Referenzmodellen gegeben werden und eine Bewertung bezüglich der Einsatzmöglichkeiten für die Montageplanung erfolgen.

Hypothese 4:

Im Rahmen der praktischen Anwendung von Modellen und insbesondere Referenzmodellen geht häufig der Zusammenhang zwischen den einzelnen Maßnahmen und Methoden verloren.

Aus diesem Grund soll das zu konstruierende Referenzmodell einen gesamthaften Ansatz für die Montageplanung darstellen. Dazu müssen organisatorische, funktionale, prozessuale-, daten- und leistungsbezogene Sichten verfügbar sein. Das konstruierte Referenzmodell muss demnach transparent und in einer gängigen Sprache entwickelt werden.

Hypothese 5:

Wissenschaft und Praxis sprechen oft nicht die gleiche Sprache, was mit den verwendeten Modellen und unterschiedlichem Problemverständnis zusammenhängt.

Aus diesem Grund richtet sich die vorliegende Arbeit gleichermaßen an Wissenschaftler und Praktiker. Für die Wissenschaft sollen Anregungen und Anstöße gegeben werden, für den Praktiker soll ein Instrumentarium bereitgestellt werden, das konkrete Lösungsansätze bietet.

1.3 Aufgabenstellung und Aufbau der Arbeit

Aus den Hypothesen lässt sich die Aufgabenstellung dieser Arbeit ableiten:

- Aufbereitung der Literaturbeiträge zur Gestaltung und Konstruktion von Referenzmodellen. Die in der Literatur beschriebenen Ansätze werden aufbereitet und kritisch exploriert.
- Erhebung der bestehenden Referenzmodelle, welche die Produktion bzw. die Montage in Industrieunternehmen berücksichtigen und kritische Würdigung dieser Referenzmodelle bezüglich der Anforderungen und Charakteristiken der Montageplanung in der Automobilindustrie.
- Entwicklung eines theoretischen Rahmenkonzepts zur Gestaltung von Referenzmodellen für die Entwicklung von rechnerunterstützten Ingenieursystemen.
- Konstruktion des Referenzmodells für die Montageplanung. Das Modell soll die Herausforderungen für die Montageplanung abdecken und in einer gängigen Modellierungssprache für die Wiederverwendung in Wissenschaft und Praxis gestaltet sein.
- Verifizierung und Validierung des entwickelten Referenzmodells durch Wiederverwendung und die Entwicklung eines rechnerunterstützten Ingenieursystems im Rahmen einer Fallstudie.

Diese Aufgabenstellung findet sich auch in der Gliederung dieser Arbeit wieder, die auch die Vorgehensweise bei der Erarbeitung widerspiegelt (siehe Abbildung 3).

1. Einleitung

Zunächst wird die Einführung in die Thematik dieser Arbeit beschrieben.

2. Wissenschaftliche Grundlagen

Im zweiten Kapitel werden die wissenschaftliche Einordnung und die Vorgehensweise bei der Erstellung dieser Arbeit erläutert. Dazu werden in komprimierter Form die für diese Arbeit wesentlichen Grundlagen dargestellt.

3. Stand der Forschung und Technik

Das dritte Kapitel beleuchtet die aktuelle Forschung zu Referenzmodellierung und Gestaltungsansätzen der Montageplanung. Abschließend findet eine Erhebung und Gegenüberstellung von bestehenden Referenzmodellen im Kontext der Aufgabenstellung dieser Arbeit statt. Dabei dienen die Berücksichtigung der Kernprozesse und der spezifischen Charakteristiken der Montageplanung in der Automobilindustrie als Kriterien.

4. Theoretisches Rahmenkonzept für die Referenzmodellierung bei rechnerunterstützten Ingenieursystemen

In diesem Abschnitt werden auf Basis des Stands der Technik zur Referenzmodellierung Gestaltungsempfehlungen für die Konstruktion von Referenzmodellen für rechnerunterstützte Ingenieursysteme gegeben. Dazu werden die einzelnen Elemente ei-

nes Referenzmodells vorgestellt und der Prozess der Referenzmodellierung durch ein Vorgehensmodell unterstützt.

5. Konstruktion des Referenzmodells

Im fünften Kapitel wird das entwickelte Rahmenkonzept praktisch angewendet. Zunächst wird die Planungsmethode für die Montageplanung entwickelt. Darauf aufbauend werden die Elemente des Referenzmodells im Referenz-Prozessmodell und im Referenz-Objektmodell realisiert.

6. Wiederverwendung des Referenzmodells

Das konstruierte Referenzmodell bildet die allgemeingültigen und unternehmensübergreifenden Aspekte der Montageplanung in der Automobilindustrie ab. In Kapitel 6 wird die Vorgehensweise zur Ableitung eines unternehmensspezifischen Modells vorgestellt und beispielhaft für die „Kontinuierliche Verbesserung“ der Montageplanung durchgeführt.

7. Softwarearchitektur im Referenzmodellkontext

Das Ziel der Referenzmodellierung ist die Entwicklung eines rechnerunterstützten Ingenieursystems. Deshalb wird in diesem Abschnitt eine Softwarearchitektur vorgestellt, die den Anforderungen der Montageplanung in der Automobilindustrie gerecht wird und damit als praxisnahe Gestaltungsempfehlung zu werten ist.

8. Fallstudie: Entwicklung eines rechnerunterstützten Ingenieursystems

Auf Basis der in Kapitel 5 bis 7 vorgestellten Elemente des Referenzmodells wird die beispielhafte Entwicklung eines rechnerunterstützten Ingenieursystems für die „Kontinuierliche Verbesserung“ beschrieben und kritisch gewürdigt.

9. Schlussbetrachtung und Ausblick

Abschließend werden die Ergebnisse dieser Arbeit zusammengefasst, den Ausgangshypothesen und Zielsetzungen gegenübergestellt und weitere Forschungsbedarfe abgeleitet.

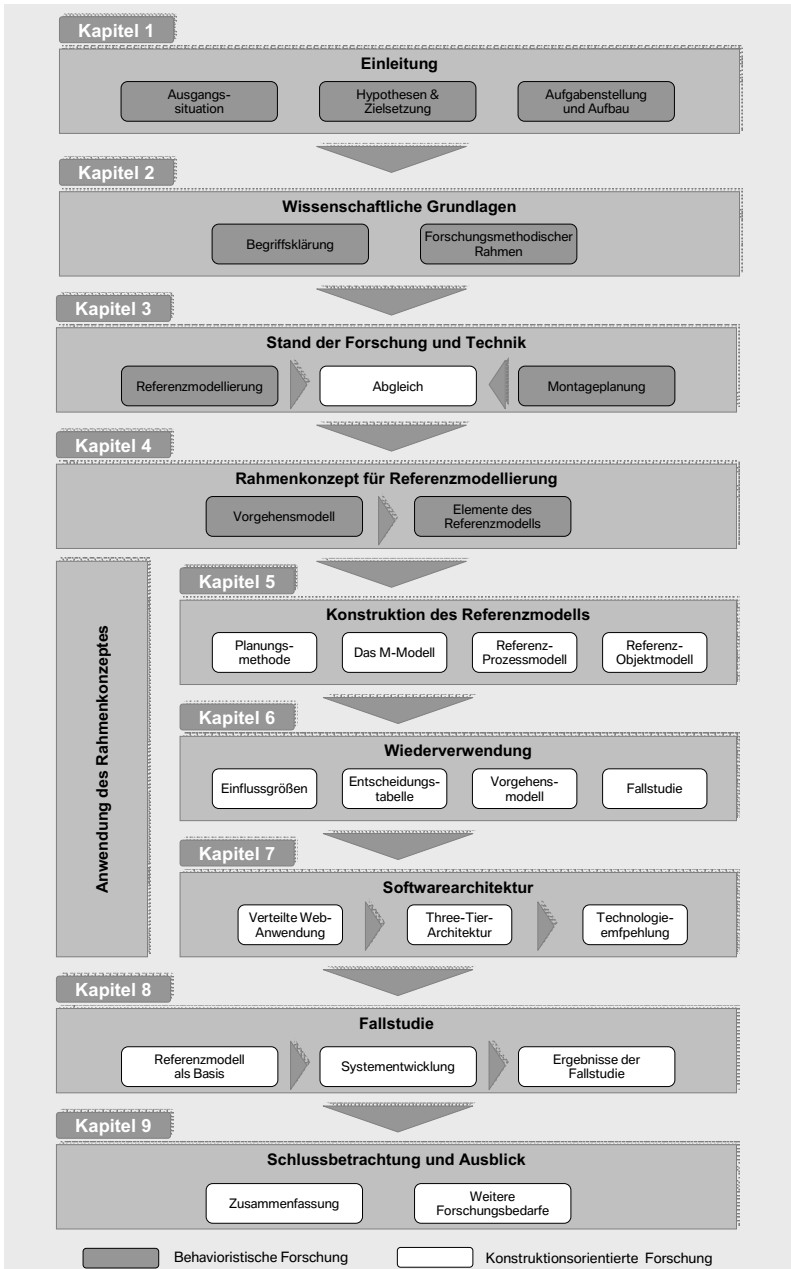


Abbildung 3: Aufbau der Arbeit

2 Wissenschaftliche Grundlagen

Als erste Annäherung an die Thematik dieser Arbeit werden in diesem Kapitel die zentralen Begriffe aus dem Titel näher betrachtet. Die Auseinandersetzung mit diesen Begriffen ermöglicht ein erstes, einleitendes Verständnis dieser Arbeit. Weitere Begriffe werden im Folgenden an der entsprechenden Stelle definiert, an der sie zum ersten Mal Verwendung finden.

Der forschungsmethodische Rahmen um diese Arbeit wird im zweiten Teil dieses Kapitels erläutert, um aufzuzeigen, welchen wissenschaftlichen Beitrag diese Arbeit leisten will, welche Grundsätze bei der Entwicklung des Referenzmodells zur Anwendung kommen und welche Möglichkeiten und Neuerungen diese Arbeit bietet.

2.1 Begriffsklärung

Im Folgenden werden die grundlegenden Begriffe dieser Arbeit definiert. Es wird ein kurzer Überblick über die verschiedenen Deutungen des Begriffs „Referenzmodell“ gegeben, um abschließend eine geeignete Definition des Begriffs als Grundlage dieser Arbeit zu entwickeln. Das Nominalkompositum Referenzmodell besteht aus den beiden Begriffen Referenz und Modell. Allgemein anerkannt ist, dass sich die Referenzmodellierung mit der Konstruktion von Modellen befasst. Somit stellt ein Referenzmodell eine Sonderform eines Modells dar. Aus diesem Grund wird zunächst der allgemeine Modellbegriff geklärt. Darauf aufbauend folgt die Definition des Begriffs Referenzmodell. Abschließend soll der Begriff Montageplanung mit dem Fokus Automobilindustrie erläutert werden.

2.1.1 Allgemeiner Modellbegriff

Der Modellbegriff findet sowohl im täglichen Leben, als auch in wissenschaftlichen Abhandlungen häufige Verwendung. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit findet ein realwissenschaftlicher Modellbegriff Verwendung. Im Unterschied zu den Formalwissenschaften, die sich mit logisch überprüfbaren Sprachen bzw. Zeichensystemen beschäftigen, stehen bei den Realwissenschaften faktisch überprüfbare Beschreibungen, Erklärungen und die Gestaltung von empirisch wahrnehmbaren Ausschnitten der Wirklichkeit im Mittelpunkt. Allerdings liegt in den Realwissenschaften kein einheitliches Verständnis über den Modellbegriff vor. Gemeinsame Grundlage für das realwissenschaftliche Modellverständnis bildet jedoch das Trias Objekt-Subjekt-Modell (Abbildung 4). Wyssusek bezeichnet dieses Trias als „strukturelle Modelldefinition“ [Wys-04], d. h. man kann nicht ausschließlich von einem Modell sprechen, sondern muss gleichzeitig angeben, *wovon* und *wofür* etwas ein Modell ist [Wüs-63, Kla-68, Sta-73].

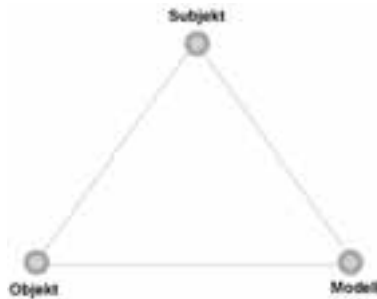


Abbildung 4: Objekt, Subjekt und Modell [Wys-04]

Im Weiteren findet der an der erkenntnistheoretischen Abbildtheorie orientierte Modellbegriff, der eine weite Verbreitung innerhalb der Informatik, Wirtschaftsinformatik und Betriebswirtschaftslehre aufweist, Verwendung [Sch-97]. Dieser pragmatische Modellbegriff nach Stachowiak hebt drei konstituierende Merkmale von Modellen hervor, die im Folgenden näher erläutert werden [Sta-73]:

- Abbildungsmerkmal
- Verkürzungsmerkmal
- Pragmatisches Merkmal

Abbildungsmerkmal

Modelle bilden stets etwas ab und sind damit Abbildungen, Repräsentationen natürlicher oder künstlicher Originale, die selbst wieder Modelle sein können (Rekursivität). Daraus lässt sich ableiten, dass ein Modell immer in einer Abbildungsrelation mit dem durch es repräsentierten Original steht. Original und Modell existieren jeweils als Menge von Attributen, wodurch die Abbildungsrelation eine reine Attributabbildung ist. Das Abbildungsmerkmal ist somit mathematisch zu verstehen.

Verkürzungsmerkmal

Modelle stellen grundsätzlich eine Abstraktion gegenüber dem Original dar und erfassen damit nicht sämtliche Attribute des Originals, sondern nur diejenigen, die der jeweilige Modellkonstrukteur bzw. Modellnutzer als relevant erachtet. Der Abbildungsvorbereich stellt dabei die Menge der Attribute des Originals dar, die auf den Abbildungsbereich des Modells abgebildet werden. Präterierte Attribute des Originals werden dabei nicht auf das Modell abgebildet. Stattdessen kann das Modell abundante Attribute enthalten, die zusätzlich zu den Attributen des Originals erforderlich sind (Abbildung 5).

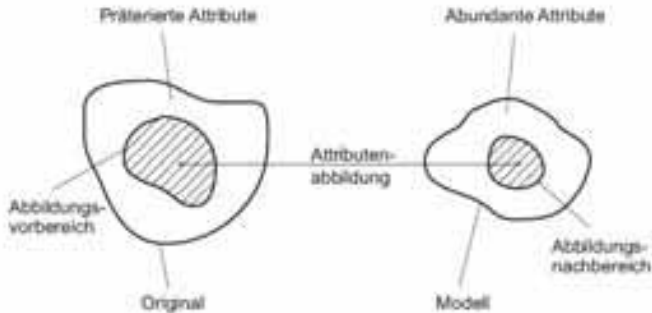


Abbildung 5: Original-Modell-Abbildung [Sta-73]

Pragmatisches Merkmal

Modelle sind insofern pragmatische Entitäten, als sie ihren Originalen nicht per se zugeordnet sind. Sie erfüllen ihre Ersetzungsfunktion für bestimmte Subjekte, innerhalb bestimmter Zeitintervalle unter Einschränkung auf bestimmte Operationen [Wis-04]. Die Definition des Modellbegriffs im Rahmen dieser Arbeit erfolgt analog [Sta-73]: „*X ist ein Modell des Originals Y für den Verwender K in der Zeitspanne t bezüglich der Intention Z.*“ Die Relation zwischen Original und Modell entsteht willkürlich durch pragmatischen Entschluss und hat somit direkten Einfluss auf die Auswahl der abzubildenden Attribute.

Bei der Abbildung von Originalen auf Modelle gemäß der allgemeinen Modelltheorie [Sta-73] handelt es sich demzufolge um Homomorphismen, also Abbildungen zwischen zwei Strukturen, bei der Teile einer Struktur auf bedeutungsgleiche Teile einer anderen Struktur eindeutig abgebildet werden. Abbildungen sind Relationen mit bestimmten Eigenschaften, die somit auch mathematisch dargestellt werden können.

Inhaltliche Unterscheidung von Modellen

Nach [Bos-92] lassen sich Modelle nach ihrem inhaltlichen Zweck unterscheiden:

- **Präskriptive Modelle:** Das Modell nimmt eine Vorbildfunktion für das Handeln und Entscheiden ein und enthält somit eine Vorschrift bzw. Hilfe.
- **Explikative Modelle:** Das Modell beantwortet die Frage nach der Beschaffenheit eines Sachkomplexes oder dem Verhalten seiner Elemente. Dabei wird das Verhalten nicht nur beschrieben, sondern auch als notwendig ablaufender Vorgang nachvollzogen.
- **Deskriptive Modelle:** Das Modell liefert eine brauchbare Beschreibung eines Sachkomplexes und nimmt damit eine Abbildfunktion ein.

Fasst man die verschiedenen Definitionen zusammen, liegt der wissenschaftliche Schwerpunkt dieser Arbeit in der Entwicklung eines homomorphen, deskriptiven Modells.

2.1.2 Der Begriff Referenzmodell

Der Begriff Referenzmodell ist ebenso uneinheitlich definiert, wie die Inhalte, die sich dahinter verbergen¹. Ausgehend vom vorgestellten abbildungsorientierten Modellbegriff nach Stachowiak [Sta-73] definiert Hars [Har-94] als zusätzliches Charakteristikum eines Referenzmodells, dass es für den Entwurf anderer Modelle nützlich ist. Aus diesem Charakteristikum leitet er drei zentrale Anforderungen an ein Referenzmodell ab:

- Allgemeingültigkeit
- Anpassbarkeit
- Anwendbarkeit

Da nach vom Brocke der Grad der Allgemeingültigkeit und des Empfehlungscharakters von Referenzmodellen intersubjektiv nur bedingt feststellbar sind, sieht er nicht die Modellqualität als bestimmendes Merkmal eines Referenzmodells, sondern ihre praktische oder faktische Wiederverwendung in anderen Modellierungskontexten [Bro-03]. Ein Referenzmodell erhält demzufolge seine Bedeutung erst im Zusammenspiel mit dem Begriff des Anwendungsmodells, d. h. ein Referenzmodell charakterisiert ein Modell in seiner Beziehung zu einem anderen Modell.

Nach Schütte [Sch-98] ist ein rein abbildungsorientiertes Verständnis eines Modells mit schwerwiegenden Problemen behaftet, weil ein Modellierungsträger einen nicht zu vernachlässigenden Einfluss auf die Konstitution der Wirklichkeit ausübt. Daher versteht er ein Referenzmodell als eine Konstruktion eines Modellierungsträgers. Demzufolge ist ein Referenzmodell eine Empfehlung, die als Bezugspunkt bei der Gestaltung von Informationssystemen fungiert.

Fettke und Loos [FL-04c] versuchen eine Systematisierung der unterschiedlichen Deutungen des Begriffs Referenzmodell, indem sie zwischen dem Gegenstands- und dem Aussagebereich einer Wissenschaft unterscheiden (Abbildung 6). Referenzmodelle im Gegenstandsbereich werden demzufolge als vorgefundene Phänomene, die wissenschaftlich zu erfassen, zu beschreiben und zu erklären sind, definiert (z. B. SAP-Referenzmodell). Referenzmodelle im Aussagenbereich sind per definitionem von Wissenschaftlern fabrizierte Sätze. Diese können als theoretische Konstrukte verstanden werden, wobei ein theoretisches Konstrukt eine explizit gegebene und abgrenzbare Satzmenge in einer Sprache ist.

¹ Aktuell wird beispielsweise an der Universität Mainz von Dipl.-Wirtsch.-Inf. Peter Fettke die Referenzmodellierungsforschung untersucht. Eine Möglichkeit sich eingehend mit der Thematik zu beschäftigen bieten dessen Veröffentlichungen [u. a. FL-05, FL-04a; FL-04b; FL-02].

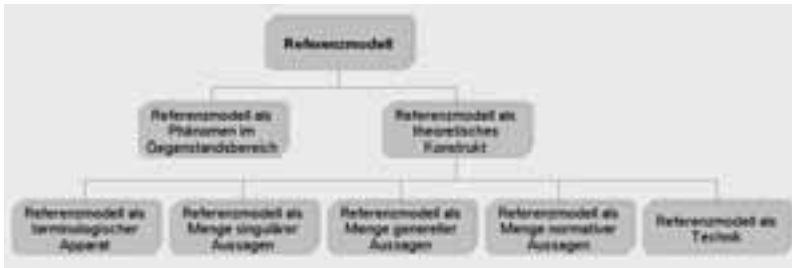


Abbildung 6: Systematisierung möglicher Deutungen des Referenzmodellbegriffs [nach FL-04c]

Chmielewicz [Chm-94] bietet in seinen „Forschungskonzeptionen der Wirtschaftswissenschaft“ fünf unterschiedliche Deutungsmöglichkeiten für Referenzmodelle im Aussagenbereich:

- **Referenzmodell als terminologischer Apparat:** Dabei wird das Referenzmodell als eine Menge von Begriffen verstanden, die eine sprachliche Verortung eines bestimmten Raum-Zeit-Gebiets erlauben („Konzeptualisierung“). Das Referenzmodell ist damit eine Begriffssammlung oder ein begrifflicher Bezugsrahmen für einen Gegenstandsbereich.
- **Referenzmodell als Menge singulärer Aussagen:** Das Referenzmodell wird dabei nicht entwickelt, sondern es ist die Beschreibung eines im Gegenstandsbereich vorgefundenen Modells. Dabei ist die Aufgabe des Wissenschaftlers eine möglichst genaue Transkription [Kno-03] der in der Realität beobachteten sozialen Modellierungsprozesse.
- **Referenzmodell als Menge genereller Aussagen:** Das Referenzmodell bezieht sich dabei nicht auf ein bestimmtes Raum-Zeit-Gebiet, sondern gilt für eine ganze Klasse von Unternehmen. Dabei ist es für das Ergebnis irrelevant, ob die Beschreibung induktiv oder deduktiv erfolgt.
- **Referenzmodell als Technik:** Das Referenzmodell hat keinen empirischen Gehalt, sondern repräsentiert lediglich eine Technik, die in der Praxis nützlich sein kann. Die Anwendung einer Technik verspricht in bestimmten Situationen Wirkungen auszulösen. In der Literatur wird vermutet, dass die Anwendung eines Referenzmodells die Gestaltung von Informationssystemen hinsichtlich Kosten Zeit, Qualität, Risiko oder Wettbewerbssituation verbessert [BK-03].
- **Referenzmodell als Menge normativer Aussagen:** Dabei besteht das Referenzmodell nicht nur aus deskriptiven, sondern auch aus präskriptiven [Hoe-92] Aussagen. Somit besteht das Referenzmodell aus Regeln, Gesetzen, Vorschriften oder Maßstäben, welche menschliche Handlungen bei der Systemgestaltung vereinheitlichen oder – strenger formuliert – vorschreiben.

3 Stand der Forschung und Technik

Dieses Kapitel gibt eine Einführung in das für diese Arbeit relevante Forschungsgebiet der Referenzmodellierung und der Montageplanung. Der Fokus liegt dabei nicht auf einer vollständigen Darstellung der Ansätze innerhalb dieses Forschungsgebietes, sondern in der Beschreibung der für den Fortgang der Arbeit notwendigen relevanten Methoden und Ansätze. Besonderer Wert wird dabei auf eine Abgrenzung des Forschungsgebietes zu ähnlichen Konzepten mit der Intention der Wiederverwendbarkeit gelegt.

3.1 Referenzmodellierung

3.1.1 Einsatzgebiete und Nutzen des Konzepts der Referenzmodellierung

Die Nutzenpotenziale des Konzepts der Referenzmodellierung können in drei unterschiedliche Kategorien eingeordnet werden, Nutzen bei der Entwicklung von Software, bei der Einführung von Standardsoftware und bei der Verbesserung der Unternehmensprozesse. In diesem Abschnitt werden diese drei Kategorien näher betrachtet. Da per Definition dieser Arbeit das Ziel der Referenzmodellierung die Entwicklung von Software darstellt, findet anschließend eine detaillierte Einordnung der Referenzmodellierung in die Vorgehensmodelle für das Software Engineering statt.

Verbesserung der Unternehmensprozesse

Referenzmodelle können jedoch auch unabhängig von der konkreten Softwareentwicklung und/oder –einführung im Unternehmen Anwendung finden. So können Schwachstellen in den Unternehmensabläufen durch den Abgleich mit einer allgemeingültigen Referenz festgestellt – und eventuell innovative Lösungsansätze abgeleitet werden. Aufgrund einer globalen Sicht auf die Abläufe im Unternehmen können organisationsübergreifende Verbesserungen bezüglich Zeit, Kosten und Qualität erkannt werden.

Mit den ISO 9000ff-Normen gibt es Vorgaben, die einen gewissen Qualitätsstandard in den Unternehmensabläufen zertifizieren. Dort ist beschrieben, welche entwicklungsphasenabhängigen Qualitätsziele zu erreichen sind, wie Maßnahmen zur Zielerreichung zu gestalten sind, usw. Sind schnell und sich häufig veränderte Produkte betroffen, ist es sinnvoll, ein Gütesiegel nicht für die Produkte selbst, sondern für die Prozesse und Methoden nach denen sie gefertigt werden zu vergeben. Der Entwicklungs- und Herstellungsprozess kann auf der Grundlage von Referenzmodellen dokumentiert werden und so als Basis für die Zertifizierung verwendet werden.

Referenzmodelle können ebenfalls als Basis für eine Prozesskostenrechnung (PKR) zum Einsatz kommen. Dabei soll eine verursachungsgerechte Verrechnung der Gemeinkosten eines Unternehmens erfolgen. Das Prinzip bedeutet, dass Gemeinkosten

nicht mehr einer Kostenstelle, sondern direkt den ablaufenden Prozessen zugeordnet werden. Die ablaufenden Prozesse können auf Grundlage der im Referenzmodell vorgeschlagenen Abläufe definiert werden.

Einführung von Software

Nach Scheruhn nehmen Referenzmodelle eine wichtige Rolle bei der Einführung bzw. Optimierung von betrieblichen Anwendungssystemen ein [Sch-96]. Dabei kann ein Referenzmodell das generelle Vorgehen einer Einführung, aber auch die Geschäftsprozesse von Standardsoftwaresystemen oder spezifischen Branchen beschreiben. So wird ein Abgleich der betrieblichen Anforderungen mit den bereitgestellten Lösungen einer Standardsoftware – oder mit allgemeingültigen Abläufen aus der jeweiligen Branche - ermöglicht. Werden beide Aspekte bei der Auswahl einer Standardsoftware berücksichtigt, reduziert sich der monetäre Aufwand für die Softwareanpassung (Customizing) und die Softwareeinführung.

Ein ebenfalls nicht vernachlässigbarer Aspekt stellt die Kommunikation zwischen den Anwendern in den Fachbereichen und der IT Fachstellen dar. Referenzmodelle bilden die fachlichen und informationstechnischen Aspekte einer Informationssystemlösung ab. Dabei wird den Anforderungen der fachlichen Experten und der Softwareentwickler Rechnung getragen und sichergestellt, dass eine einheitliche Begriffswelt zur Anwendung kommt. Für das Management kann das Referenzmodell als Basis für eine Informationsverarbeitungs-Strategie und Investitionsentscheidungen dienen.

Entwicklung von Software

Bei beiden „Extremformen“ integrierter Anwendungssysteme – Individual- als auch Standardsoftware, wie auch Mischformen – kann das Konzept der Referenzmodellierung eingesetzt werden [MLEM-97]. Referenzmodelle aus Wissenschaft und Praxis können als Basis für die Umsetzung von Funktionen und die Abbildung von Informationen dienen. Sie bieten einen Überblick über benötigte Funktionalitäten und die verwendeten Daten in einer Anwendungsdomäne. Dadurch kann – je nach Fokussierung des gewählten Vorgehensmodells – eine Verkürzung der Entwicklungszeit sowie eine Erhöhung der Ergebnisqualität der jeweils zu durchlaufenden Phasen erzielt werden. Beide Aspekte haben auch direkten Einfluss auf die monetären Aufwände für die Softwareentwicklung.

Dieser Nutzen bezieht sich sowohl auf die Entwicklung³ unternehmensspezifischer (Individual-)Software, als auch auf die Entwicklung von Standardsoftware und wird im folgenden Abschnitt näher betrachtet.

³ Der Nutzen kann auch sich auch bei der Anpassung von vorhandenen Informationssystemen einstellen. So können Teilaspekte des Referenzmodells ohne große Anpassungen einer bestehenden Bebauungslandschaft umgesetzt werden.

3.1.2 Einordnung in Vorgehensmodelle des Software Engineering

Im Software Engineering existieren verschiedene Modelle zur Strukturierung der Vorgehensweise bei der Entwicklung von Software. Im Folgenden werden die wichtigsten Vorgehensmodelle vorgestellt – und die Rolle der Referenzmodellierung im Ablauf des jeweiligen Vorgehensmodells hervorgehoben.

Nach Dumke lassen sich zwei Modellarten unterscheiden [Dum-03]:

- **sequentielle Modelle:** Diese Modelle sind durch eine relativ strenge Ablauffolge der Phasen charakterisiert. Folgende sequentiellen Modelle werden im Folgenden näher betrachtet:
 - Wasserfallmodell
 - V-Modell
- **nichtsequentielle Modelle:** Diese Modelle ermöglichen „Rücksprünge“ im Verlauf des Entwicklungsvorgehens. Unten stehende nichtsequentielle Modelle werden im Folgenden näher betrachtet:
 - Spiralmodell
 - Prototyping

Wasserfallmodell

Als erstes sequentielles Modell wird hier das Wasserfallmodell (Abbildung 8) beschrieben. Es ist dadurch gekennzeichnet, dass nach jeder Phase ggf. ein Rückbezug zur vorherigen Phase notwendig sein kann.

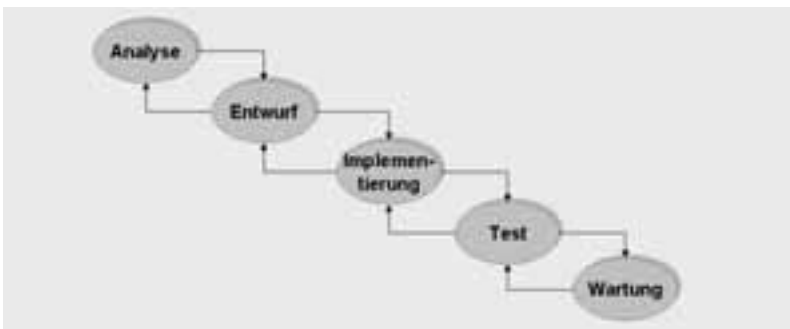


Abbildung 8: Wasserfallmodell [in Anlehnung an Dum-03]

Die Vorteile dieses Modells liegen in der Einfachheit der Strukturierung. Es ist im Vorfeld genau definiert, welches Ergebnis (Output) nach jeder Phase vorhanden sein muss. Dadurch erfolgt eine detaillierte und genaue Dokumentation des gesamten Entwicklungsprozesses. Allerdings birgt das Wasserfallmodell auch einige Gefahren in sich. Es wird zum einen sehr inflexibel durch die strikte Partitionierung in die verschie-

denen Phasen [Som-95] und zum anderen kann es passieren, dass am Ende der Entwicklung ein hoher Wartungsaufwand entsteht, da die Anforderungen des Kunden in den frühen Phasen nicht ausreichend berücksichtigt worden sind.

Im Allgemeinen werden die fünf Phasen Analyse, Entwurf, Implementierung, Test und Wartung unterschieden [Pre-92]. Die Referenzmodellierung kann dabei sowohl in der Analyse- und Entwurfsphase, als auch in der Implementierung einen wesentlichen Beitrag zur Verkürzung dieser Phasen leisten. Dabei kann auf Wissen über branchentypische Probleme und Lösungen zurückgegriffen werden [DE-98]. Aber auch in der Wartungsphase kann durch eine vereinfachte Dokumentation der Systemspezifikationen auf Basis des Referenzmodells eine qualitative und zeitliche Verbesserung erreicht werden.

V-Modell

Ein weiteres sequentielles Vorgehensmodell stellt das V-Modell (Abbildung 9) dar. Es wurde ursprünglich für das deutsche Verteidigungsministerium entwickelt und umgesetzt. Mittlerweile wird es weltweit als Standardisierungskonzept für die Software-Entwicklung eingesetzt.

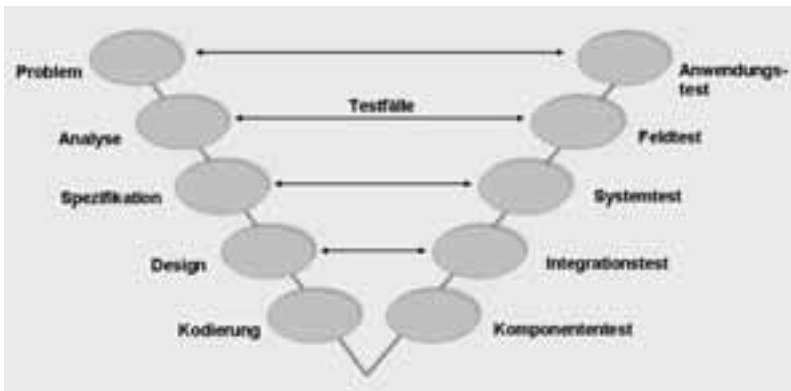


Abbildung 9: V-Modell [in Anlehnung an Dum-03]

Das V-Modell ist vor allem durch eine Einteilung in Abstraktionsstufen gekennzeichnet, d. h. eine symmetrische Anordnung der Systementwicklungsphasen. Zunächst wird das Gesamtsystem von der Problembeschreibung zur Kodierung hin entwickelt und anschließend in umgekehrter Reihenfolge bis hin zum Anwendungstest getestet. Diese Einteilung in gleiche Abstraktionsniveaus erlaubt auch Rückschlüsse, dass ein Fehler, der beim Testen gefunden wird, immer in der jeweils gegenüberliegenden Phase seinen Ursprung findet [Wal-90]. Weitere Vorteile sind die Integration unterschiedlicher Aspekte des Entwicklungsprozesses und die Anpassung an projektspezifische Anforderungen. Nachteile bestehen darin, dass es sehr bürokratisch und zu allgemein für kleine bis mittlere Softwareprojekte gehalten ist. Daher wird es eher bei großen Soft-

wareprojekten eingesetzt. Die Referenzmodellierung unterstützt dabei vor allem im Bereich der Problembeschreibung, Analyse und Spezifikation durch die Bereitstellung einer anerkannten Wissensbasis und führt so zu einer Verbesserung der Softwarequalität und einer Verkürzung der Gesamtentwicklungszeit.

Weitere sequentielle Modelle

Es existieren weitere sequentielle Modelle, wie beispielsweise Cleanroom-Engineering, das durch eine strenge Formalisierung bei der Übergabe von Entwicklungsergebnissen gekennzeichnet ist und dadurch einen hohen Dokumentationsaufwand erfordert. Die Rolle der Referenzmodellierung innerhalb dieser Modelle ist jeweils analog zum Wasserfallmodell zu sehen.

Spiral-Modell

Das Spiral-Modell ist ein Meta-Modell und hat als oberstes Ziel die Risikominimierung. Es erfolgt keine Trennung zwischen Entwicklung und Wartung. In Abbildung 10 ist das Spiral-Modell skizziert. Die vier Phasen Analyse, Entwurf, Realisierung und Einsatz werden für jede Verfeinerungsebene und jedes Teilprodukt durchlaufen. Die Ergebnisse des letzten Zyklus werden im nächsten Zyklus wieder verfeinert. Hierbei können bei Bedarf auch separate Spiralzyklen für verschiedene Komponenten durchlaufen werden.

Die wesentlichen Vorteile des Spiral-Modells liegen in der frühzeitigen Eliminierung von Fehlern und ungeeigneten Alternativen, sowie in der regelmäßigen Überprüfung des Prozessablaufs durch das Hinzufügen einer Risikoanalyse [Boe-88]. Ein wesentlicher Nachteil ist durch den hohen Managementaufwand gegeben. Dieses Modell ist daher eher für größere Projekte gut geeignet.

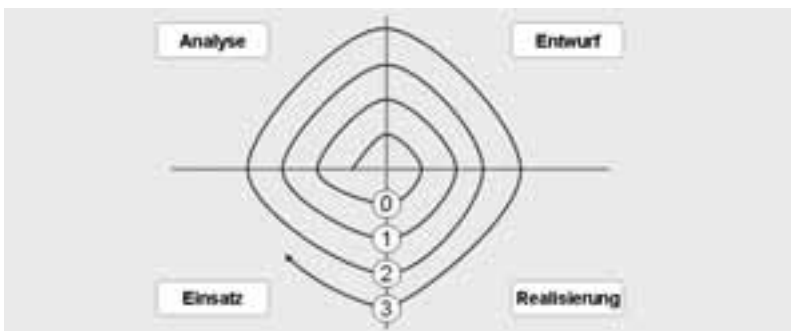


Abbildung 10: Spiralmodell

4 Rahmenkonzept für die Konstruktion von Referenzmodellen für die Entwicklung rechnerunterstützter Ingenieursysteme

4.1 Besonderheiten von Referenzmodellen für die Entwicklung rechnerunterstützter Ingenieursysteme

In den vorangehenden Kapiteln wurde erläutert, dass der Begriff „Referenzmodell“ eine breite und uneinheitliche Verwendung findet. Im Folgenden soll eine domänenspezifische Sicht auf den Begriff „Referenzmodell“ zur Anwendung kommen, um die Unterschiede der Referenzmodellierung in verschiedenen Informatikdisziplinen zu verdeutlichen. Abbildung 22 zeigt die Ziele, Herausforderungen und Lösungsansätze der Referenzmodellierung in der Technischen Informatik, Wirtschaftsinformatik und Ingenieurinformatik.

	Technische Informatik	Wirtschaftsinformatik	Ingenieurinformatik
Zielsetzung	Bereitstellung von allgemeingültigen, reproduzierbaren Werkzeugen für komplexe technische Probleme	Bereitstellung von allgemeingültigen, reproduzierbarem Wissen einer betriebswirtschaftlichen Anwendungszwecke	Bereitstellung von allgemeingültigen, reproduzierbarem Wissen für den ingenieurwissenschaftlichen Problemlösungsprozess
Charakteristik	Komplexe Algorithmen, mathematische Herangehensweisen (z.B. Referenzmodelle für Kommunikationsprotokolle)	Komplexe Prozessabläufe (Pardoll's-H-Model)	Komplexe Prozessabläufe sowie Datenstrukturan (Montage-PL-Modelle als Ergebnis dieser Arbeit)
Fokus	Fokus liegt auf der Bereitstellung von halbwegs genauen Lösungen	Fokus liegt auf der Prozessmodellierung für betriebswirtschaftliche Abläufe	Fokus liegt auf der Prozess- und Datenmodellierung für den Produktentwicklungsprozess

Abbildung 22: Referenzmodellierung in verschiedenen Informatikdisziplinen

Die vorliegende Arbeit ordnet sich dem Gebiet der Ingenieurinformatik zu, deshalb sollen zunächst die Unterschiede bzw. Gemeinsamkeiten mit der Technischen Informatik und der Wirtschaftsinformatik erläutert werden.

Schon die Zielsetzung der Referenzmodellierung in den verschiedenen Disziplinen weist große Unterschiede aus. Während die Ingenieurinformatik den ingenieurmäßigen

Produktentstehungsprozess fokussiert (vgl. Abbildung 14), stellt die Wirtschaftsinformatik Lösungen für betriebswirtschaftliche Probleme bereit. In der Technischen Informatik werden Lösungen für komplexe technische und/oder mathematische Probleme bereitgestellt. Gemeinsam ist das für Referenzmodelle typische Charakteristikum, all-gemeingültige und reproduzierbare Lösungsansätze zu liefern.

Die Herausforderung im Bereich der Ingenieurinformatik liegt in der Beherrschung komplexer Prozessabläufe und verteilter Datenstrukturen – beispielsweise durch Produkt-Daten-Management-Systeme (PDM-Systeme). Die Wirtschaftsinformatik hat hauptsächlich die Herausforderungen komplexer Prozessabläufe zu bewältigen, wie sie beispielsweise in der Lohn- und Gehaltsabrechnung zu finden sind. Im Bereich der Technischen Informatik liegt der Fokus hingegen weniger auf der Beherrschung komplexer Prozessabläufe, als auf der Beherrschung und Bereitstellung komplexer Algorithmen.

Dementsprechend sind die Lösungsansätze unterschiedlich ausgeprägt. Während die Technische Informatik Algorithmen oder Schichtenmodelle in Form von Referenzmodellen bereitstellt, stellen in der Wirtschaftsinformatik Prozessmodelle einen verbreiteten Lösungsansatz dar. Die Ingenieurinformatik muss komplexe Prozesse beherrschen, die unmittelbar mit komplexen Datenstrukturen zusammenhängen. Deshalb haben in dieser Anwendungsdomäne sowohl Prozesse als auch Daten einen hohen Stellenwert.

4.2 Überblick über die Elemente von Referenzmodellen für die Entwicklung rechnerunterstützter Ingenieursysteme

Aufgrund der Besonderheiten von Referenzmodellen im Bereich der Ingenieurinformatik müssen Referenzmodelle in diesem Bereich vier unterschiedlichen Anforderungen gerecht werden:

- Abbildung von parallelen und verzweigten Abläufen (Prozessen) im Rahmen der Produktentstehung als Innensicht auf den Produktentstehungsprozess. Demzufolge soll eine Spezifikation der Lösungsverfahren für die Umsetzung des Produktentstehungsprozesses erfolgen.
- Abbildung von komplexen und verteilt erzeugten und bearbeiteten Informationen und Informationsstrukturen als fachliche Spezifikation in Form eines Konzeptuellen Objektmodells (KOM).
- Abbildung des Zusammenhangs von Abläufen (Prozessen) und Informationen.

Daraus leiten sich die einzelnen Elemente von Referenzmodellen für die Entwicklung rechnerunterstützter Ingenieursysteme ab, die im Folgenden näher beschrieben werden (Abbildung 23):

- **Vorgehensmodell:** Vorschlag zum Ablauf der Referenzmodellierung.

- **Referenz-Prozessmodell:** Abbildung der Geschäftsprozesse für den Produktentstehungsprozess.
- **Referenz-Objektmodell:** Abbildung der Geschäftsobjekte, die im Verlauf des Produktentstehungsprozesses erzeugt und bearbeitet werden.
- **Referenzmodell-Struktur:** Sammlung von Verweisen, die eine Ordnungsrelation auf die Teilmodelle erzeugen und die Strukturen des Gesamtmodells aufzeigen.
- **Unternehmensinterne Einflussgrößen:** Beschreibung von unternehmensinternen Einflussgrößen, die bei der Wiederverwendung des Referenzmodells beachtet werden müssen.
- **Vorgehensmodell zur Ableitung spezifischer Modelle:** Vorschlag zur Vorgehensweise, um spezifische Modelle aus dem Referenzmodell abzuleiten.
- **Softwarearchitektur:** Grundlegende Gestaltungsempfehlung für rechnerunterstützte Ingenieursysteme in der Anwendungsdomäne des Referenzmodells.



Abbildung 23: Elemente von Referenzmodellen für die Entwicklung rechnerunterstützter Ingenieursysteme

4.3 Vorgehensmodell

4.3.1 Zielsetzung und Inhalte des Vorgehensmodells

Das Vorgehensmodell stellt im vorliegenden Rahmenkonzept einen Vorschlag zum zeitlichen Ablauf von Konstruktion und Anwendung von Referenzmodellen für die Entwicklung rechnerunterstützter Ingenieursysteme dar. Gemäß der Aufgabenstellung dieser Arbeit und der Begriffsdefinition umfasst die Referenzmodellierung drei Phasen (Abbildung 24).

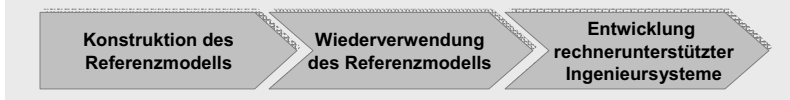


Abbildung 24: Phasen der Referenzmodellierung

In Abweichung zum in Abschnitt 3.1.6 vorgestellten Vorgehensmodell nach Schütte [Sch-01], das aus fünf Phasen besteht, wird im hier vorgestellten Modell die Fokussierung auf die Aspekte der Wiederverwendung und Informationssystementwicklung stärker herausgestellt. In Tabelle 5 werden die Phasen der beiden Vorgehensmodelle einander zugeordnet und die am Ende der Phase vorliegenden Ergebnisse beschrieben.

Tabelle 5: Zuordnung der Phasen im Vorgehensmodell nach [Sch-01] zum hier vorgestellten Vorgehensmodell

Phase	Zugeordnete Phasen (Kap. 3.1.6, [Sch-01])	Ergebnis
Konstruktion des Referenzmodells	1 Problemdefinition 2 Konstruktion des Referenzmodellrahmens 3 Konstruktion der Referenzmodellstruktur	Als Ergebnis der ersten Phase liegt ein Referenzmodell für die definierte Anwendungsdomäne vor, das in unterschiedlichen Sichten verwendet werden kann.
Wiederverwendung des Referenzmodells	4 Komplettierung 5 Anwendung	Als Ergebnis der zweiten Phase liegen die relevanten wieder verwendbaren Elemente des Referenzmodells vor. Innerhalb dieser Phase findet auch die Ableitung von unternehmensspezifischen Modellen statt.
Entwicklung rechnerunterstützter Ingenieursysteme	5 Anwendung	Als Ergebnis der dritten Phase liegt auf Basis des zuvor erstellten Referenzmodells unter Auswahl der wieder verwendeten Elemente ein rechnerunterstütztes Ingenieursystem für die gesamte Anwendungsdomäne oder Bereiche der Anwendungsdomäne vor.

4.3.2 Phase 1: Konstruktion des Referenzmodells

[Bos-92] definiert den *Modellzweck* als „... die wichtigste Vorgabe der Modellentwicklung, je genauer er spezifiziert wird, desto schärfer, präziser und knapper kann die Modellformulierung entwickelt werden.“ Die präzise Formulierung des Modellzwecks gehört daher an den Beginn der Modellentwicklung und bildet deshalb den ersten Teil im Vorgehensmodell. Dabei kann auf die verschiedenen Möglichkeiten zum Referenzmodelleinsatz - wie in Abschnitt 3.1.1 beschrieben – zurückgegriffen werden.

Auf Basis des Modellzwecks wird im zweiten Schritt eine geeignete *Architektur* für das Referenzmodell ausgewählt. Nach [GERAM-99] werden darunter die generischen Konzepte der Unternehmensorganisation und –integration verstanden. Dies beinhaltet Rollen, Prozesse und Technologien für die Modellierung.

Schließlich wird eine geeignete *Modellierungssprache* ausgewählt. Da die natürliche Sprache ein gewisses Maß an Ungenauigkeit und Interpretationsspielraum lässt, soll durch die Verwendung einer „künstlichen Sprache“ eine höhere Konsistenz der Modelle erreicht werden. Dies geschieht häufig durch Formalisierung. In Wissenschaft und Praxis haben sich zahlreiche Modellierungssprachen und Methoden herausgebildet, die als Basis für die Auswahl dienen können.

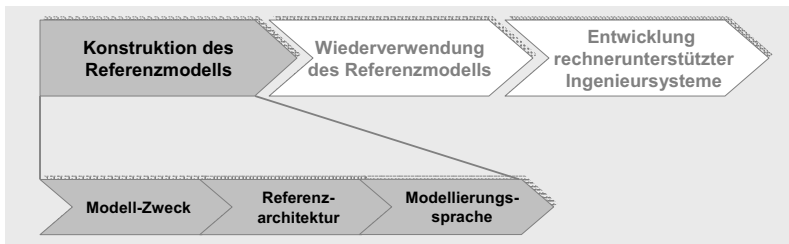


Abbildung 25: Phase 1: Konstruktion des Referenzmodells

4.3.3 Phase 2: Wiederverwendung des Referenzmodells

Bereits in Abschnitt 3.1.5 wurde die Wiederverwendbarkeit als bestimmendes Merkmal eines Referenzmodells vorgestellt. In der zweiten Phase des Vorgehensmodells wird dementsprechend die Wiederverwendung des Referenzmodells in den Mittelpunkt gerückt. Als Ergebnis dieser Phase liegen die Modellelemente für den konkreten Modellierungszweck vor.

Die Wiederverwendbarkeit wird durch drei Schritte sichergestellt. Zunächst werden im Rahmen des *Wiederverwendbarkeitsentwurfs* wieder verwendbare Referenz-Objekte und Referenz-Prozessbausteine entworfen. Diese Bausteine müssen in der Phase *Wiederauffindung* durch eine klare Struktur und genaue Klassifikationsmerkmale wieder aufgefunden werden. Schließlich sollen die Erfahrungen aus der Ableitung spezifischer Modelle die Referenzmodellqualität verbessern und damit laufend für eine Ver-

5 Konstruktion des Referenzmodells

In diesem Abschnitt soll unter Verwendung des in Kapitel 4 entwickelten Rahmenkonzepts zur Konstruktion von Referenzmodellen für die Entwicklung rechnerunterstützter Ingenieursysteme ein Referenzmodell für die Anwendungsdomäne „Montageplanung in der Automobilindustrie“ konstruiert werden. Dazu wird zunächst eine Planungsmethode entwickelt, die als Basis für das Referenzmodell dient.

5.1 Definition der Planungsmethode

Unter einer Methode wird allgemein die geistige Grundlage für planmäßiges, folgerichtiges Verfahren, Vorgehen, Forschen, Handeln oder die Art und Weise der Durchführung bezeichnet. Eine Planungsmethode stellt demzufolge ein planmäßiges, folgerichtiges Vorgehen zur Planung eines Montagesystems in der Automobilindustrie dar. Die Montageplanung erfolgt in der Automobilindustrie projekthaft [Bur-02], d. h. im Rahmen eines Fahrzeugentwicklungsprojektes. Deshalb muss die Planungsmethode zum einen zeitlich – nach Entwicklungsfortschritt – und zum anderen inhaltlich – mit Bezug zu den Kernaufgaben der Montageplanung – betrachtet werden.

5.1.1 Inhaltliche und zeitliche Einordnung in den Produktentstehungsprozess

Nach [DIN 69901] und [DIN 19246] ist ein Projekt ein Vorhaben, das im Wesentlichen durch die Einmaligkeit seiner Bedingungen gekennzeichnet ist, z. B. durch eine zeitliche, finanzielle und/oder personelle Begrenzung. Bei einem Entwicklungsprojekt steht außerdem die Zweckorientierung im Vordergrund, es sollen dabei marktfähige Produkte generiert werden [Wic-95]. Im Bereich der Automobilindustrie sind die Entwicklungsprojekte zusätzlich durch ein zunehmendes *Concurrent Simultaneous Engineering* (CSE) gekennzeichnet. Die Grundidee des CSE besteht darin, dass lokal verteilte Prozessschritte zeitlich parallel (*simultaneous*) in interdisziplinären Teams (*concurrent*) durchgeführt werden [Jun-05; Ehr-95].

Es existieren in den Unternehmen der Automobilindustrie unternehmensspezifische zeitliche und inhaltliche Rahmen für die Bündelung aller Aktivitäten im Rahmen der Produktentstehung bis zum Start der Produktion⁶ (engl. „start of production“, SOP). Allgemein lässt sich der Produktentstehungsprozess in drei Phasen aufteilen: in die *Initialphase*, die *Grobplanung* und die *Feinplanung* (Abbildung 30).

⁶ Gemeint ist an dieser Stelle explizit der Montagestart, der jedoch i. d. R. gleichzeitig mit dem Start der Produktion stattfindet. Deshalb wird im Folgenden die Abkürzung SOP für beide Ereignisse verwendet. Mit dem Start der Produktion beginnen selbstverständlich auch die anderen Technologien (Presswerk, Rohbau,...).

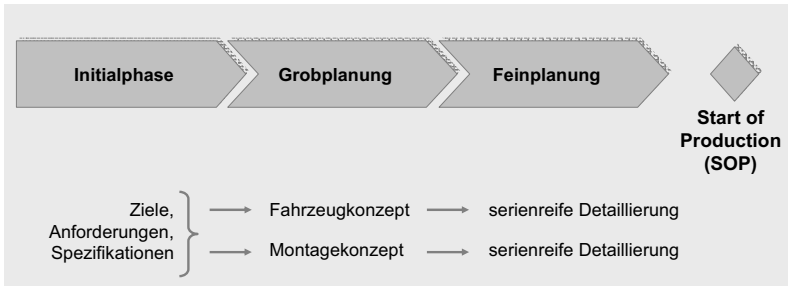


Abbildung 30: Planungsphasen: vom Groben ins Feine

In den Unternehmen werden kontinuierlich Ideen und Strategien für zukünftige Projekte erarbeitet. Die *Initialphase* dient dazu, die strategischen Ziele und Anforderungen für ein konkretes Projekt zu erarbeiten. Sie endet mit einem Projektauftrag.

Die nachfolgende Phase der *Grobplanung* (oft auch frühe Phase genannt), hat die Zielsetzung, stimmige, marktfähige Gesamtfahrzeugkonzepte zu erarbeiten. Nach Erarbeitung der Konzepte werden diese wirtschaftlich bewertet. Am Ende dieser Phase steht die Entscheidung, ob die Serienentwicklung beauftragt wird. Anschließend wird die vollständige Projektorganisation aufgebaut.

In der Phase der *Feinplanung* werden die erarbeiteten Konzepte serienreif detailliert und der Produktionsablauf in den Werken vorbereitet. Die Montageplanung wird zunächst zentral durchgeführt und am Ende der Phase zum Start der Produktion (SOP, Start of Production) an die Werke ausgeleitet und abgestimmt. In der *Feinplanung* nimmt die Absicherung der detaillierten Konzepte eine wichtige Rolle ein. In dieser Phase werden verschiedene Gesamtfahrzeugprototypen gebaut und Untersuchungen zur Montierbarkeit der Bauteile gemacht. Die Serienwerkzeuge für Haus- und Kaufteile werden hergestellt und die notwendigen Fertigungsanlagen beschafft und installiert. Kurz vor dem Produktionsstart werden die ersten Vorserienfahrzeuge unter Serienbedingungen erstellt, um den Nachweis für die Prozesssicherheit zu erbringen.

Schließlich startet die Serienproduktion (SOP), die bis zur Einstellung der Produktion (EOP, End of Production) dauert. Sie ist kontinuierlichen Verbesserungen und Effizienzsteigerungen unterworfen.

Die inhaltliche Einordnung der Montageplanung in den Produktentstehungsprozess wurde bereits in Kapitel 3.2.1 vorgenommen.

5.1.2 Prämissen für die Planungsmethode

Während im Bereich der Konstruktion eine weitgehende Integration im Bereich der Entwicklungsmethoden und –systeme zu beobachten ist, weist die Montageplanung eine geringere Durchgängigkeit der Methoden und Systeme auf. Das bedeutet in der zeitlichen Einordnung, dass je nach Planungsphase unterschiedliche Planungsstruktu-

ren in unterschiedlichen Informationssystemen abgebildet werden. Inhaltlich ist die Planung durch eine große Abhängigkeit von individueller Kommunikation zwischen den beteiligten Personen gekennzeichnet (Abbildung 31).

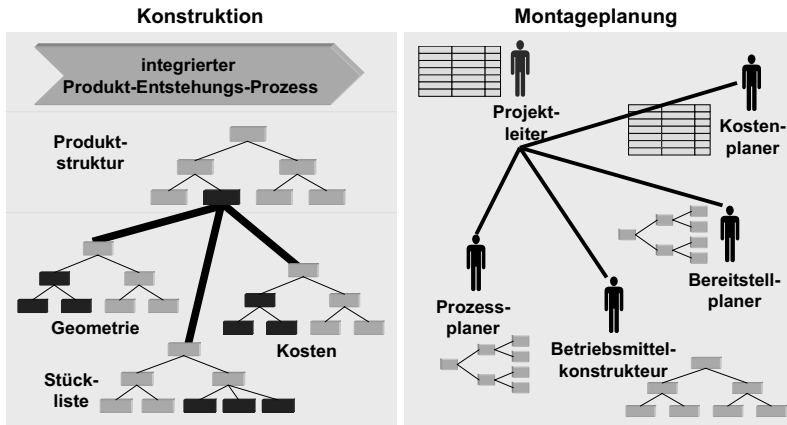


Abbildung 31: Arbeitsweisen der Konstruktion und der Montageplanung heute

Diese geringe Durchgängigkeit verhindert, dass Erfahrungswissen aus Vorgänger-Projekten direkt für die Planung des aktuellen Projektes genutzt werden können. Dies führt zu einem deutlichen Mehraufwand, da die Planungsdaten komplett neu erzeugt werden müssen. Hinzu kommen Planungsbrüche, die teils methodisch, teils systemseitig bedingt sind und zu einem höheren Planungsaufwand führen. Die Schnittstellen an den Planungsbrüchen können Inkonsistenzen und Redundanzen erzeugen, was teilweise zu einer reduzierten Datenqualität bzw. sogar zu Datenverlust führen kann.

Für unterschiedliche Zwecke kommen teilweise unterschiedliche Planungsebenen zum Einsatz. Dies führt zu einer Doppelpflege von Daten für die Prozessdokumentation und die Prozessabsicherung. Diese Informationen sind heute nicht durchgängig nutzbar, da sie verschiedene Granularitäten der Planung darstellen. Die Prozesskommunalität (vgl. Kapitel 3.2.4) kann mit den heute zur Verfügung stehenden Konzepten nicht standortübergreifend abgebildet werden. Dies führt dazu, dass gleiche Montageprozesse, die an verschiedenen Standorten durchgeführt werden, mehrfach geplant werden müssen. Dies verhindert letztendlich eine Standardisierung von Montageprozessen.

Eine weitere Schwachstelle der bestehenden Vorgehensweisen ist die fehlende Anbindung zur Produktstruktur. Die Kommunikation erfolgt hier überwiegend durch persönliche Kommunikation und wird nicht durch eine Anbindung der Montageplanung an die Produkt-Daten-Management-Systeme unterstützt. Dies führt ebenfalls zu redundanter Datenhaltung und damit auch zu Inkonsistenzen. Die Verbindung zum Änderungsmanagement besteht ebenfalls nur in der Nachdokumentation bestehender Entscheidungen. Die Ausleitung und Aktualisierung von Geometrie-Daten in Verbaureihenfolge ist

aus diesem Grund ebenfalls ein manueller Prozess, der unter hohem Aufwand von Experten durchgeführt werden muss. Eine Verknüpfung der Montageprozessabsicherung mit den Geometrie-Daten ist nur durch manuelle Aktivitäten möglich. Der Datenaustausch zwischen Konstruktion und Montageplanung erfolgt ausschließlich nach dem Push-Prinzip. Das kann dazu führen, dass Entscheidungen und Bewertungen auf der Basis nicht aktueller bzw. fehlerhafter Daten erfolgen.

Die Kostenplanung erfolgt heute ebenfalls ohne systemtechnische Schnittstellen zur Montageprozessdokumentation und zu den Produktdaten. Die Eingabe-, Auswertungs- und Übertragungsvorgänge geschehen manuell. Auch hier gibt es keine Verknüpfung zum Änderungsmanagement. Eine übergreifende Datenhaltung und damit Integration in die Planungsmethode fehlt.

Die hier aufgeführten Schwachstellen in der aktuellen Planung müssen im Rahmen einer Neudefinition der Planungsmethode behoben werden. Daraus lassen sich folgende Prämissen ableiten:

- Es werden generische Produkt-Prozess-Elemente zur Kopplung von Produkt und Montageprozess benötigt.
- Die Montageprozessdokumentation wird durchgängig von der Grobplanung bis zum Start der Produktion auf einer Planungsebene am so genannten Montagevorgang (MVG) dargestellt. Die Granularität kann dabei durch den Planer selbst beliebig festgelegt werden.
- Der Absicherungsprozess wird in die neu zu definierende Planungsstruktur MVG integriert. Da die Absicherung auf einer größeren Granularität als die Prozessdokumentation erfolgt, werden geeignete Aggregationsmechanismen definiert, die zur automatisierten Erzeugung eines Bewertungsumfanges (BU) für die Absicherung der Montageplanung dienen.
- Der MVG ist so beschaffen, dass verschiedene Fahrzeuge gleichzeitig über mehrere Produktionsstandorte geplant werden können. Dadurch kann eine Abbildung der Prozesskommunalität erfolgen.
- Planungsdaten können direkt von einem Vorgänger- / Vergleichsfahrzeug übernommen und weitergenutzt werden. Montagevorgänge werden in einer Struktur von der ersten Planungsidee bis zur Übergabe ans Werk erzeugt und bearbeitet.
- Die Planungsdaten referenzieren durchgängig auf die im Produkt-Daten-Management-System enthaltenen Informationen zur Produktstruktur. Dadurch werden alle relevanten Produktinformationen inklusive der Geometrie-Daten redundanzfrei zur Verfügung gestellt. Änderungsinformationen können so automatisiert bereitgestellt werden.
- Zur Variantenbeherrschung werden Verwendungsinformationen nur einmal an der Produktstruktur geplant.

- Produktdaten werden durch die Referenzierung automatisch aktuell zur Verfügung gestellt. Das bisher vorherrschende Push-Prinzip wird durch ein proaktives Pull-Prinzip ersetzt.
- Über die Referenzierung der Produktdaten werden automatische Ausleitungen des logistischen Mengengerüsts bereitgestellt. Eine Ableitung von geometrischer Varianz und Anzahl Teile pro Fahrzeug wird ermöglicht.
- Die Kostenplanung basiert auf einer einheitlichen Struktur mit Verknüpfung zur Montageprozessdokumentation. Dadurch wird eine redundante Datenhaltung vermieden. Informationen aus Vorgänger- / Vergleichsprojekten können wiederverwendet werden.
- Der Arbeitsplan bildet das Ergebnis der Planung und stellt die Menge an MVGs dar, die die Produktion genau eines Fahrzeugs beschreiben. Dies kann durch das Erzeugen einer Sicht auf die Montageprozessdokumentation erfolgen.
- Die kontinuierliche Verbesserung als ein wichtiges Element zur Wettbewerbssicherung wird durch die entwickelte Planungsmethode unterstützt.
- Sämtliche Aufgaben und Charakteristiken der Montageplanung, wie sie in Kapitel 3.2 beschrieben sind, werden in der Planungsmethode berücksichtigt.

5.1.3 Überblick über die definierte Planungsmethode

Aus den vorgestellten Prämissen ergeben sich folgende Merkmale für die Definition der neuen Planungsmethode:

Durchgängigkeit der Planungsmethode

Der Kernablauf der Montageplanung wird durchgängig von der ersten Konzeptidee bis zum Serienanlauf ohne Brüche in der Methode abgebildet. Die Grobplanung unterscheidet sich von der Feinplanung nur dadurch, dass die Inhalte der gepflegten Planungsdaten variieren. Einige Abläufe (z. B. Montageprozessabsicherung) starten nicht von Beginn. Wenn diese Abläufe starten, setzen sie auf die vorangehenden Abläufe und deren Ergebnisse auf.

Durchgängigkeit der Planungsdaten

Sämtliche für den Montageplanungsprozess benötigten und erzeugten Objekte werden jeweils nur einmal gepflegt. Dies bedeutet insbesondere, dass Produktdaten aus einem PDM-System übernommen werden können. In der Montageplanung werden nur die jeweils zusätzlich benötigten Prozessgestaltungs-, Konstruktions- und Absicherungsanteile ergänzt. So werden keine redundanten Objekte erzeugt.

Aus diesen Merkmalen leitet sich die Planungsmethode ab. Die Montageplanung basiert dabei auf drei parallel ablaufenden Strängen, die letztlich gemeinsam bis zum Start der Produktion reifen.

6 Wiederverwendung des Referenzmodells

Das vorliegende Referenzmodell bildet mit seinen Elementen die allgemeingültigen und unternehmensübergreifenden Aspekte der Montageplanung in der Automobilindustrie ab. Für die Anwendung im Unternehmen ist die Ableitung eines spezifischen Modells notwendig. Dies kann durch Wiederverwendung oder Anpassung von Teilen des Referenzmodells geschehen [Ros-96; Rup-02; Del-05]. Im folgenden Kapitel wird die Vorgehensweise zur Ableitung eines spezifischen Modells vorgestellt und beispielhaft umgesetzt.

6.1 Grundsätzliche Vorgehensweise

Die Bereitstellung von vordefinierten Prozessvarianten wie sie im Variantenmanagement in der Prozessmodellierung zum Einsatz kommt, stellt kein geeignetes Konzept für die Referenzmodellierung dar [Pil-98]. Ein Referenzmodell ist durch die inhaltliche Verallgemeinerung nicht detailliert genug beschrieben, um Prozessvarianten darzustellen. Des Weiteren soll ein Referenzmodell nicht die komplette Gestaltung von unternehmensindividuellen Prozessen übernehmen, d. h. zur Weiterverwendung sind Anpassungen notwendig.

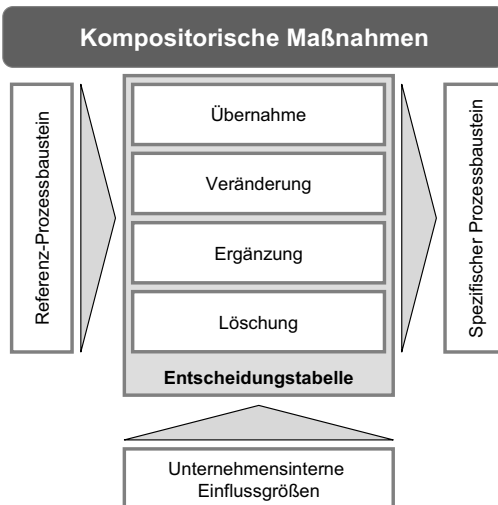


Abbildung 56: Maßnahmen zur Wiederverwendung des Prozessmodells

Die dazu notwendigen Anpassungsmaßnahmen am Referenzmodell lassen sich in zwei Kategorien unterteilen [Sch-01]:

- Kompositorische Maßnahmen: Löschung, Veränderung oder Ergänzung einzelner Bereiche des Referenzmodells.
- Generische Maßnahmen: Beschreibung von expliziten Möglichkeiten zur Anpassung des Referenzmodells. Dabei werden Regeln bereitgestellt, die für die Anpassung des Referenzmodells ausgeführt werden müssen.

Die Ableitung spezifischer Modelle des vorliegenden Referenzmodells soll durch geeignete kompositorische Maßnahmen unterstützt werden. Durch den modularen Aufbau des Referenzmodells mittels Referenz-Prozessbausteinen und Referenz-Objekten wird die Grundlage für die Wiederverwendung gelegt.

Die Wiederverwendung hängt von unternehmensexternen und unternehmensinternen Einflussgrößen ab [Rup-02; Del-05]. Die internen Einflussgrößen sind Faktoren, die vom Unternehmen selbst beeinflusst werden können. Externe Einflussgrößen können teils selbst beeinflusst werden, teils durch das Verhalten anderer Organisationen bestimmt werden. Bei der Gestaltung des Referenzmodells müssen insbesondere die externen Einflüsse berücksichtigt werden, wie sie in der Ausgangssituation beschrieben sind, da diese für alle Unternehmen der Anwendungsdomäne gelten. Für die Wiederverwendung in einem spezifischen Modell sind dagegen die unternehmensinternen Einflussgrößen relevant und müssen deshalb bei der Ableitung des Modells berücksichtigt werden.

Deshalb wird hier ein Wiederverwendungsszenario beschrieben, das es ermöglicht, unternehmensspezifische Prozesse durch Auswahl und Kombination der in Kapitel 5 entwickelten Prozessbausteine unter Berücksichtigung von unternehmensinternen Einflussgrößen abzuleiten. Dazu werden folgende drei Modellelemente verwendet:

1. Referenzmodell inkl. Prozessbausteinen und Basisfunktionen
2. Unternehmensinterne Einflussgrößen
3. Entscheidungstabelle

Das Referenzmodell wird in Kapitel 5 detailliert beschrieben und liegt vollständig bei der BMW AG vor. Die Elemente 2 und 3 werden in den folgenden Abschnitten beschrieben.

6.2 Unternehmensinterne Einflussgrößen

Im Folgenden findet eine Kategorisierung der unternehmensinternen Einflussgrößen für die Montageplanung in der Automobilindustrie statt (Tabelle 14). Die vorliegende Arbeit kann nur einen methodischen Rahmen zur Ermittlung der unternehmensspezifischen Ausprägungen dieser Einflüsse bieten. Dazu bietet Tabelle 14 eine Übersicht über die verschiedenen unternehmensinternen Einflussgrößen.

Tabelle 14: Unternehmensinterne Einflussgrößen

Einflussgröße	Beschreibung
Unternehmensstrategie	Langfristige strategische Ausrichtung des Unternehmens bezüglich betriebswirtschaftlichen und organisatorischen Aspekten, aber auch Normen und Werten.
Unternehmensstruktur	Organisatorischer Aufbau des Unternehmens.
Entwicklungsprojekt	Aufbau und Organisation des Entwicklungsprojektes einschließlich Terminen.
Produkt	Produktprogramm, Produktkomplexität und –varianz; die Produkte eines Unternehmens prägen die Fabrikstrukturen [Wei-02].
Produktion	Produktionsprogramm, Automatisierungsgrad, vorhandene Strukturen, Betriebsmittel und Anlagen.
Innovationen	Produktinnovationen und Technologiesprünge in der Produktion [Sch-06].
Mitarbeiter	Mitarbeiterqualifikation, -alter, -entgelt, Ergonomie und betriebliches Vorschlagswesen.
Informationstechnologie	Unterstützung der Planung durch Innovationen im Bereich der Informationstechnologie (z.B. RFID)

Die genannten Einflussgrößen können als Basis für das Aufsetzen eines morphologischen Kastens dienen. Die unterschiedlichen Ausprägungen der Einflussgrößen können dadurch übersichtlich aufgezeigt werden und als Basis für eine Entscheidungstabelle dienen.

6.3 Entscheidungstabelle

Im Bereich der Prozessmodellierung existiert das Konzept der *Prozessauswahlmatrizen* von SAP, in dem relevante Prozesse anhand von Szenarioprozessen ausgewählt werden [Sch-98b]. Wie vorgestellt, kann die Ableitung eines individuellen Modells durch Hinzufügen, Entfernen und Anpassen von Basisfunktionen und Prozessbausteinen erfolgen. Außerdem können diese durch die Gestaltung von Ablaufbeziehungen ergänzt werden [Del-05]. Dieser konstruktive Schritt vom Referenzmodell zum spezifischen Modell wird durch eine Entscheidungstabelle unterstützt.

Eine Entscheidungstabelle muss für jede Anpassungssituation neu aufgebaut und befüllt werden, damit die jeweils spezifischen Rahmenbedingungen und Erfordernisse des betroffenen Unternehmens bzw. Projektes berücksichtigt werden. Dazu werden die Prozessobjekte des Referenzmodells den unternehmensinternen Einflussgrößen gegenübergestellt. Dazu wird jedes Prozessobjekt gemäß der Einflussfaktoren bewertet,

mögliche Entscheidungen sind E (erforderliches Prozessobjekt), B (bedingt erforderlich) und N (nicht erforderliches Prozessobjekt).

Referenz-Prozessobjekte	...								
	Montagevorgang	E	N	B	E	E	E	E	E
	Bewertungsumfang	E	E	E	E	E	B	E	E
	Fertigungstechnische Bewertung	E	N	B	E	B	B	E	E
	Herstellbarkeitsnachweis	E	N	B	E	E	N	E	E
	Betriebsmittel	E	N	B	E	B	N	B	E
	Bereitstellplan	E	N	B	E	B	B	B	E
	Anbauteil	E	E	E	E	E	E	E	E
	Kostenbericht	E	B	B	E	E	E	E	E
	Investitionsbericht	E	N	B	E	B	B	E	E
	KV-Bewertung	E	N	B	E	E	E	E	E
	Fortschreibungsantrag Montageprozess	E	N	B	E	E	E	E	E
	Fortschreibungsantrag Produkt	E	E	E	E	E	E	E	E
	Hallenlayout	E	N	B	E	B	N	E	E
	...								
	Kombinatorik	✓			✓			✓	
		Eigenfertigung	Fremdfertigung	Modul-Fremdfertigung	Neues Produktkonzept	Derivat	Modellüberarbeitung	Integrationsplanung	Neuplanung (neue Strukturen)
	...	Strategie		Produkt		Produktion			
		unternehmensinterne Einflussgrößen							

Abbildung 57: Auszug aus einer Entscheidungstabelle

6.4 Vorgehensmodell

Das Vorgehensmodell zur Wiederverwendung eines Referenzmodells durch Ableitung eines spezifischen Modells orientiert sich an der „Vorgehensweise für das Konzept der Prozessindividualisierung“ von Rupprecht [Rup-02]. Die Ableitung eines spezifischen Modells startet mit dem Setzen der notwendigen Rahmenbedingungen für die Ableitung eines spezifischen Modells.

Zunächst werden die ersten bekannten Projektrahmenbedingungen und die unternehmensinternen Einflussgrößen gesetzt (Schritt 1). Mit Hilfe der Entscheidungstabelle können die notwendigen Prozessobjekte bestimmt werden (Schritt 2). Anschließend werden die Prozessobjekte den unternehmensspezifischen Randbedingungen entsprechend angepasst. Dies kann beispielsweise die Transformation von bestimmten Prozessobjekten bedeuten und im einfachsten Fall zu einer Anpassung der Terminologie führen. Im nächsten Schritt wird überprüft, ob ein geeigneter Referenz-Prozessfall die Rahmenbedingungen erfüllt (Schritt 4). Ist dies der Fall, kann der Referenz-Prozessfall wieder verwendet werden (Schritt 6). Wenn kein geeigneter Referenz-

Prozessfall zur Verfügung steht, muss geprüft werden, ob geeignete Referenz-Prozessbausteine vorhanden sind (Schritt 5). Dazu dienen ebenfalls die im ersten Schritt beschriebenen Rahmenbedingungen. Ist ein geeigneter Referenz-Prozessbaustein vorhanden, wird dieser ausgewählt und entsprechend der Rahmenbedingungen angepasst (Schritt 8 und 9). Sollte auch kein geeigneter Referenz-Prozessbaustein im Referenzmodell enthalten sein, muss ein spezifischer Prozess manuell mit Hilfe eines Prozessmodellierungswerkzeuges erzeugt werden (Schritt 7). Am Ende werden für die abgeleiteten Prozesse die durchführenden Stellen festgelegt (Schritt 10) und das spezifische Modell dokumentiert (Schritt 11).

Durch die Rückführung spezifischer Prozesse aus dem Schritt 7 kann die Wissensbasis des Referenzmodells verbreitert werden. Auf die Bereitstellung eines definierten Regelwerks für die Rückführung von neuen Prozessen in das Referenzmodells wird jedoch an dieser Stelle verzichtet. Hier soll der Hinweis auf die Arbeit von *Rupprecht* genügen [Rup-02], die sich intensiv mit der Wiederverwendung von Prozessmodellen in Projekten auseinandersetzt.

7 Softwarearchitektur im Referenzmodellkontext

Das in den vorangehenden Kapiteln entwickelte Referenzmodell beschreibt die Ausrichtung der Geschäftsprozesse und Objekte für die Montageplanung in der Automobilindustrie. Das Referenzmodell kann dabei als Strategievorgabe dienen, an der die Unternehmen zukünftig ihre Soll-Konzeptionen ausrichten können. Da das Ziel der Referenzmodellierung gemäß der Definition in dieser Arbeit die Entwicklung eines Informationssystems ist, bleibt die Frage, wie dieses Konzept zur Entwicklung rechnergestützter Ingenieursysteme eingesetzt werden kann. Deshalb wird in diesem Kapitel eine Softwarearchitektur dargestellt, die als Basis für die Entwicklung von rechnerunterstützten Ingenieursystemen im Kontext des Referenzmodells dient. Sie kann als praktische Gestaltungsempfehlung für die Softwareentwicklung verstanden werden. In Kapitel 8 wird anschließend aufgezeigt, wie für einen Teilbereich des Referenzmodells auf Basis der Referenzarchitektur ein Individualsoftwaresystem entwickelt wird.

7.1 Verteilte Web-Anwendung

Ein bestimmendes Charakteristikum der Montageplanung in der Automobilindustrie ist die Arbeit in einem verteilten globalen und teilweise unternehmensübergreifendem Produktionsnetzwerk. Die methodische Ausrichtung der Geschäftsprozesse –und –objekte auf diese Situation ist im Referenz-Prozess- und –objektmodell beschrieben. Um das Produktionsnetzwerk aber auch informationstechnisch angemessen zu versorgen, muss die Montageplanung in die Lage versetzt werden, zur richtigen Zeit, in der benötigten Granularität, in der erforderlichen Qualität, schnell und einfach auf die benötigten Informationen zugreifen zu können. Dazu muss das „informationswirtschaftliche Gleichgewicht“ [Krc-98] zwischen Informationsbedarf und Informationsangebot im Produktionsnetzwerk hergestellt werden. Der weltweite Zugriff auf detaillierte Produkt- und Prozessinformationen ist erforderlich, um

- Produktinformationen als Basis für die Montageplanung bereitzustellen,
- Montageprozesse zu planen,
- Montageprozesse abzusichern,
- kommunale Montageprozesse abbilden zu können,
- zeitnah auf Vergleichsdaten zugreifen zu können,
- Managemententscheidungen durch geeignete Datenbereitstellung zu unterstützen.

Fehlen diese Möglichkeiten, wird es zu Koordinations- und Steuerungsproblemen im Montageplanungsprozess kommen. Aus diesem Grund wird eine Softwarearchitektur benötigt, welche die Planungs-, Absicherungs- und Managementaktivitäten der unmittelbar am Planungsprozess beteiligten Akteure unterstützt.

Daher ergeben sich folgende Anforderungen an eine Softwarearchitektur für das Referenzmodell, um den Zustand des Nichtwissens innerhalb eines dezentral agierenden Produktionsnetzwerkes zu vermeiden:

- Unterstützung der im Referenz-Prozessmodell und Referenz-Objektmodell abgebildeten Planungsmethode.
- Temporärer und rechnerunabhängiger Zugriff auf die Systeme (d. h. Echtzeit Übermittlung der Planungsdaten sowie geringe plattformspezifische Anforderungen an die IT-Systeme der Nutzer).
- Direkter Zugriff auf alle Planungsdaten innerhalb des Produktionsnetzwerkes.
- Einfacher Zugriff durch intuitive Benutzeroberfläche aufgrund der unterschiedlichen IT-Kenntnisse der Akteure.
- Zugriffskontrolle, um sicherheitsrelevante Daten zu schützen (Prinzip: jeder darf genau diejenigen Daten abrufen, die er für seine Arbeit benötigt).

Die zu entwickelnde Softwarearchitektur soll dabei zwei Anforderungen erfüllen: Sie muss (1) konkret genug sein, um auf der Granularitätsebene des Referenzmodells praktisch anwendbare Gestaltungsempfehlungen zu geben, aber auch (2) allgemein genug, um auf ihrer Basis unternehmensspezifische Informationssysteme entwickeln zu können.

Die aufgeführten fachlichen Anforderungen werden von einer Client/Server-Architektur erfüllt, wie sie in verteilten Web-Anwendungen im World Wide Web (WWW) vorzufinden ist. Diese Architektur ermöglicht es, temporär, direkt und rechnerunabhängig auf benötigte Informationen zugreifen zu können. Eine Client/Server-Architektur bildet die hard- bzw. softwarebezogene Struktur eines Client/Server-Systems ab. Ein Client/Server-System wird dabei wie folgt definiert [CDK-02]:

„Unter einem Client/Server-System verstehen wir ein webbasiertes Softwaresystem, bei welchem die Rollen bzw. Bereiche zwischen dem dienstbringenden Teil (den Servern) und dem dienstnutzenden Teil (den Clients) klar getrennt bzw. strukturiert sind.“

Tannenbaum und van Steen definieren Client und Server wie folgt [TS-03]:

„Ein Server ist ein Prozess, der einen bestimmten Dienst implementiert, beispielsweise einen Dateisystemdienst oder einen Datenbankdienst. Ein Client ist ein Prozess, der einen Dienst von einem Server erwartet.“

Für die Realisierung bietet sich ein javabasiertes Werkzeug an, da Java den „quasi-Standard“ für mittlere bis große Web-Anwendungen darstellt. Voraussetzung dafür ist eine objektorientierte Darstellung der zu verwaltenden Informationen, wie sie im Referenz-Objektmodell vorliegt.

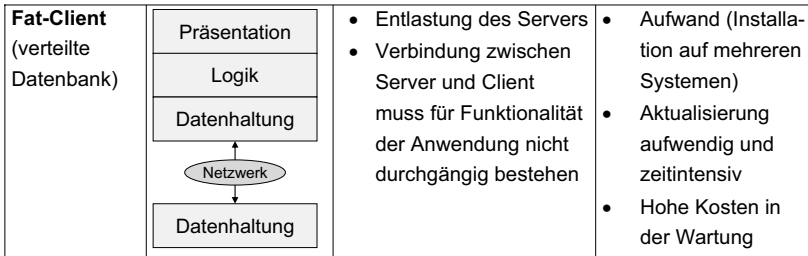
7.2 Three-Tier-Architektur

Als Grundlage für die Spezifikation einer Systemarchitektur und zur Erleichterung der Umsetzung der funktionalen Anforderungen werden die Prozesse der Zielapplikation hinsichtlich ihrer Art und ihrem systemtechnischen Zusammenhang in Bereiche eingeteilt. Um eine effiziente Einteilung zu erreichen, sollen die Bereiche möglichst unabhängig bzw. gekapselt sein. Damit soll erreicht werden, dass Relationen zwischen zwei Bereichen auf das Nötigste beschränkt und möglichst gebündelt bestehen.

Eine Client/Server-Architektur basiert in der Literatur auf mehreren Schichten. Die verschiedenen Architekturarten ergeben sich aus den unterschiedlichen Verteilungsformen dieser Schichten [Nie-95]: Findet als Verteilungsform lediglich die Präsentation auf dem Client statt, während alle anderen Aufgaben vom Server bewältigt werden, spricht man von einem *Thin-Client-System*. Wird die eigentliche Verarbeitung der Daten neben der Präsentation auf dem Client vollzogen, wird dieser als *Fat-Client* bezeichnet. Tabelle 17 zeigt mögliche Aufteilungsformen der Schichten zwischen Client und Server.

Tabelle 17: Mögliche Aufgabenverteilung zwischen Client und Server

Bezeichnung	Verteilung	Vorteile	Nachteile
Thin-Client (verteilte Präsentation)	<pre> graph TD subgraph Client direction TB P1[Präsentation] L1[Logik] D1[Datenhaltung] end subgraph Server direction TB P2[Präsentation] L2[Logik] D2[Datenhaltung] end Client --- N((Netzwerk)) --- Server P1 <--> P2 </pre>	<ul style="list-style-type: none"> • einfache, zentrale Verwaltung und Wartung • geringer Aufwand und geringe Kosten durch zentrale Applikation • flexibel • nur Server erfordert Sicherheitsmaßnahmen zum Schutz der Applikationsfunktionalität 	<ul style="list-style-type: none"> • hohe Ressourcenbelastung für den Server
Daten-Server (entfernte Datenbank)	<pre> graph TD subgraph Client direction TB P1[Präsentation] L1[Logik] end subgraph Server direction TB P2[Präsentation] L2[Logik] D2[Datenhaltung] end Client --- N((Netzwerk)) --- Server P1 <--> P2 </pre>	<ul style="list-style-type: none"> • hohe Performanz durch Ressourcenaufteilung (Server liefert lediglich angeforderte Daten) • aufgrund der zentralen Datenhaltung hohe Sicherheit 	<ul style="list-style-type: none"> • hohe Komplexität und hoher Aufwand (Installation auf mehreren Systemen)



Webbasierte Informationssysteme werden immer in einer *Multi-Tier-Architektur* umgesetzt. Dabei werden die Schichten außerhalb des Clients auf zwei oder mehrere Server verteilt. Diese Form der Architektur verteilt die Datenhaltung, Steuerung, Anwendungslogik, Datenverwaltung und Präsentation auf drei (*Three-Tier-Architektur*) oder mehr netzwerkartig getrennte Systeme. Oft ist ein spezieller Server für die Datenhaltung gegeben, der für eine bestimmte Datenbank betrieben wird oder Bestandteil eines Datenbanksystems ist. Die weiteren Schichten werden auf einen zusätzlichen Server und den Clients verteilt. Dieser Server, der nachfolgend als *Anwendungsserver* bezeichnet wird, befindet sich somit als separate Schicht zwischen dem Datenbankserver und einem oder mehreren Clients. Der *Anwendungsserver* erhält die notwendigen Daten durch netzwerkgestützte Kommunikation mit dem *Datenbankserver* und bereitet aus dieser die Präsentation für die *Clients* vor. Die generierte Darstellung wird weiter über ein Netzwerk an die *Clients* gesendet. Die *Clients* sind dabei zumindest für die Präsentation verantwortlich ([TS-03], Abbildung 61).

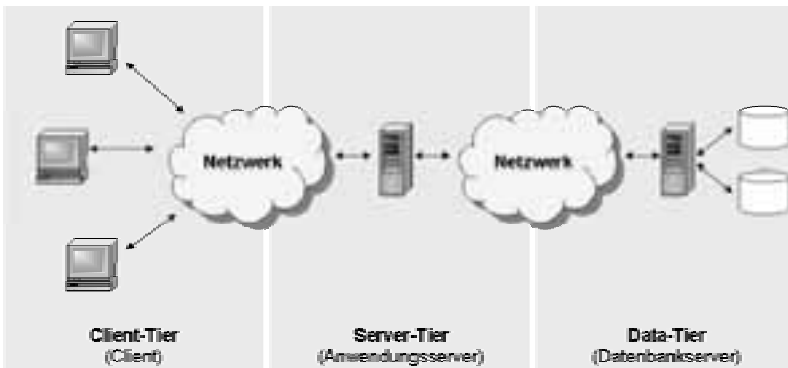


Abbildung 61: Three-Tier-Architektur

Die Kommunikation innerhalb der Client/Server-Architektur übernimmt bei Web-Anwendungen das *Hyper Text Transfer Protocol (HTTP)*. *HTTP* ist ein Request/Response-Modell, dabei gibt es zwei Parteien, die clientseitig von den Webbrowsern und serverseitig von den Webservern gebildet werden. Sie kommunizieren über das *Transmission Control Protocol (TCP)*, um Nachrichten auszutauschen (Abbildung 62).

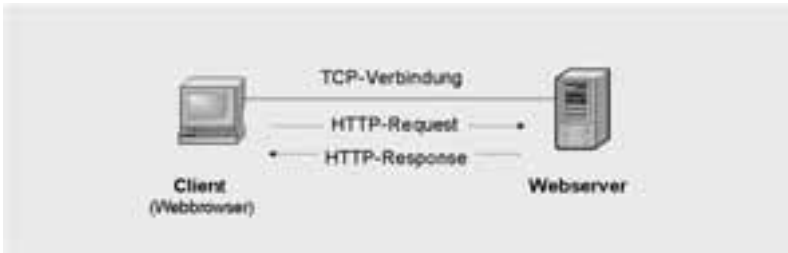


Abbildung 62: Request und Response bei HTTP [Wil-01]

Die Kommunikation kommt durch den Aufbau einer TCP-Verbindung seitens des Clients zum Webserver zustande. Dabei sendet der Client seine Anfrage in Form eines sog. HTTP-Requests. Der Webserver wertet diese Anfrage aus und liefert eine Antwort in Form eines entsprechenden HTTP-Response.

7.2.1 Client-Tier: Präsentationsschicht

Die Kernaufgabe der Präsentationsschicht ist die Bereitstellung einer intuitiven Benutzeroberfläche, die dem Anwender eine interaktive Systemnutzung erlaubt. Darüber können Ereignisse ausgelöst werden, um Systemdienste auszuführen und Daten zu visualisieren. Dem Anwender wird darüber eine datenbasierte und personalisierte Sicht auf die Montagedaten zur Verfügung gestellt.

7.2.2 Server-Tier: Logikschicht

In der Logikschicht werden die Daten zwischen dem *Client-Tier* und der *Data-Tier* mittels Datenzugriff vermittelt, aber auch manipuliert bzw. verarbeitet. In der *Server-Side-Presentation-Tier* werden auf dem Webserver die Benutzeroberflächen für die Clients generiert. Die Generierung kann in einer *J2EE*-Architektur (Java 2 Enterprise Edition) über *Servletes*, *JavaServerPages (JSP)*, *XML* oder *XSLT* erfolgen. In der Logikschicht erfolgt die Steuerung des logischen Gesamtablaufs der Applikation. Die Geschäftslogik wird dabei in einem prozessorientierten Teil für den Transaktionskontext und einen objektorientierten Teil für die Zustandsmanipulation abgebildet. Die Logikschicht basiert auf dem Model-View-Control-Konzept (MVC). Ziel ist dabei eine Trennung zwischen Darstellung (View), Ablaufsteuerung (Control) und den Funktionen der Geschäftslogik (Model) (Abbildung 63).

8 Fallstudie Entwicklung eines Informationssystems

Dieses Kapitel beschreibt den dritten und letzten Schritt im Vorgehensmodell zur Referenzmodellierung für rechnerunterstützte Ingenieursysteme. Auf Basis des in Abschnitt 6.5 abgeleiteten spezifischen Modells und der in Kapitel 7 vorgeschlagenen Softwarearchitektur wird eine Individualsoftware entworfen und umgesetzt, das die „Kontinuierliche Verbesserung“ unterstützt. Die Umsetzung des kompletten Referenzmodells in einem Informationssystem konnte im Rahmen dieser Arbeit nicht geleistet werden. Das folgende Kapitel ist deshalb als beispielhafte Anwendung der Vorgehensweise zu verstehen. Das vorgestellte Informationssystem wurde unter Berücksichtigung der unternehmensinternen Einflussgrößen der Technologie Montage der BMW Group entwickelt und ist dort seit November 2006 im Produktiveinsatz.

8.1 Referenzmodell als Basis für die Informationssystementwicklung

Durch die Nutzung eines Referenzmodells kann die Entwicklung des rechnerunterstützten Ingenieursystems auf einer stabilen Basis aufsetzen. Das abgeleitete Modell bildet das Fundament für die Entwicklung des Informationssystems. In den folgenden Abschnitten werden die relevanten Bestandteile des Referenzmodells und ihre Auswirkung auf die Softwareentwicklung dargestellt.

8.1.1 Abgeleiteter Prozessfall

Die Basis bildet der abgeleitete Prozessfall aus Kapitel 6.5. Die beispielhafte Anwendung des Modells bezieht sich auf den Prozess „Analysieren der Ausgangssituation“ (Abbildung 66). Den Kern bildet dabei die Auswertung der Montageprozesse hinsichtlich der dabei durchgeführten Tätigkeiten. Dabei sollen die wertschöpfenden Tätigkeiten am Produkt von den nicht-wertschöpfenden Tätigkeiten unterschieden werden. Die Montageprozesse werden in sog. Montagevorgängen (MVG)⁹ abgebildet, die in einer externen Datenbank gehalten werden.

⁹ Als Vereinfachung wird für die folgenden Ausführungen angenommen, dass der Montagevorgang (MVG) mit den im Referenz-Objektmodell beschriebenen Attributen zur Verfügung steht. In der Praxis werden die Daten des Arbeitsplanes bei der BMW Group in sog. Teilvorgängen (TVG) abgebildet. Dieser enthält jedoch alle im Referenzmodell beschriebenen Attribute, so dass aufgrund der einfacheren Verständlichkeit die Terminologie nicht angepasst wird.

9 Schlussbetrachtung und Ausblick

Das im Rahmen dieser Arbeit entwickelte Referenzmodell für die Montageplanung in der Automobilindustrie bietet den Unternehmen der Automobilindustrie eine fundierte Basis für die Ausrichtung der Montageplanung auf die bestehenden Herausforderungen. Aufgrund ihrer breiten Anwendungsmöglichkeit gewinnen Referenzmodelle an Bedeutung, beispielsweise beim Prozess-Re-Engineering, beim Qualitätsmanagement, in der Kostenrechnung aber auch bei der Entwicklung von rechnerunterstützten Ingenieursystemen.

Die in der Basisthese und den Hypothesen gemachten Annahmen konnten bestätigt werden (siehe Anhang A). Es wurde ein Rahmenkonzept für die Konstruktion von Referenzmodellen für die Entwicklung rechnerunterstützter Ingenieursysteme vorgestellt und praktisch für die Montageplanung in der Automobilindustrie angewendet. Das aufgezeigte Konzept der Wiederverwendbarkeit und die geschaffenen Möglichkeiten zur Ableitung von spezifischen Modellen gewährleisteten die Reproduzierbarkeit der vorgestellten Ansätze. Durch die Nutzung und Weiterentwicklung der bestehenden Ansätze zur Montageplanung aus der Literatur wird die Allgemeingültigkeit der Ergebnisse unterstützt. Außerdem wurde das Abstraktionsniveau des Referenzmodells so gewählt, dass unternehmensspezifische Anpassungen möglich sind, ohne dass dazu der Rahmen des Referenzmodells verlassen werden muss. Dazu wurde ein Vorgehensmodell entwickelt, das die Ableitung von Modellen methodisch unterstützt.

Die Herausforderungen, mit denen die Automobilindustrie momentan konfrontiert ist, wurden bei der Konstruktion des Referenzmodells berücksichtigt. Das steigende Produktportfolio kann durch Ansätze zur Prozesskommunalität im Sinne einer intelligenten Standardisierung beherrscht werden. Der Umgang mit der steigenden Produktkomplexität und der daraus resultierenden Variantenvielfalt kann durch Ansätze zur Planung und Ableitung von Varianten unterstützt werden. Die Arbeit in internationalen Produktionsnetzwerken wird durch eine modularisierbare und skalierbare Softwarearchitektur möglich. Dadurch kann auch auf Veränderungen in der Wertschöpfungskette flexibel reagiert werden. Die Einbindung von externen Partnern ist durch die Nutzung der entwickelten Softwarearchitektur möglich. Durch die Betrachtung des Anlieferzustandes eines Bauteils bei der Montageplanung werden Auswirkungen durch eine Veränderung der Wertschöpfungstiefe gemindert.

Die in der Literatur zu findenden Ansätze zur Montageplanung wurden auf ihre Eignung gemäß der Zielstellung dieser Arbeit untersucht. Insbesondere die Charakteristiken der Montageplanung, Prozessorientierung, Produktkomplexität, Integrationsaspekt und Parallelität sind in den bestehenden Ansätzen ganz oder teilweise nicht berücksichtigt.

Das entwickelte Referenzmodell führt schließlich verschiedene Konzepte aus der Informatik und den Ingenieurwissenschaften im Sinne der Ingenieurinformatik zusammen. Es enthält praktische Gestaltungsempfehlungen, die durch Anwendung bei einem

Literaturverzeichnis

[ADA-97]

Adam, D.: Produktionsmanagement, Wiesbaden 1997.

[AG-97]

Abramovici, M.; Gerhard, D.: Engineering Data Management: Anspruch, Wirklichkeit und Zukunftsperspektiven. In: Industrie Management spezial, GITO-Verlag, 1997, S. 11-15.

[ADSW-86]

Ammer, D.; Dungs, K.; Seidel, U. A.; Weller, B.: Systematische Montageplanung. In: Bullinger, H. J. (Hrsg.): Handbuch für die Praxis/ REFA. München 1986.

[AS-95]

Allweyer, T.; Scheer, A.-W.: Modellierung und Gestaltung adaptiver Geschäftsprozesse. Saarbrücken 1995.

[AT-00]

Anderl, R.; Trippner, D.: STEP, Standard for the Exchange of Product Model Date. Stuttgart 2000.

[Bar-87]

Barhelmeß, P.: Montagerechtes Konstruieren durch die Integration von Produkt- und Montageporzeßgestaltung. Berlin 1987.

[Bal-96]

Balzert, H.: Lehrbuch der Softwaretechnik, Bd. 1. Berlin, Heidelberg, Oxford 1996.

[BD-87]

Boothroyd, G; Dewhurst, P.: Product Design for Assembly. Massachusetts 1987.

[BDH-02]

Bruns, R.; Dunkel, J.; Holitschke, A.: JavaServer Pages oder XSLT. In: Java Spektrum, Ausgabe 04/02.

[Ber-96]

Bertram, M.: Das Unternehmensmodell als Basis der Wiederverwendung bei der Geschäftsprozessmodellierung. In: Vossen, G.; Becker, J. (Hrsg.): Geschäftsprozessmodellierung und Workflow Management: Modelle, Methoden, Werkzeuge. Bonn, Albany 1996, S. 81-100.

[BK-03]

Becker, J.; Knackstedt, R.: Konstruktion und Anwendung fachkonzeptioneller Referenzmodelle im Data Warehousing. In: Uhr, W.; Esswein, W.; Schoop, E. (Hrsg.): Wirtschaftsinformatik 2003/Band II – Medien – Märkte – Mobilität. Heidelberg 2003, S. 415 – 433.

[WBHT-01]

Westerkämper, E.; Bullinger, H.J.; Horváth, P.; Zahn, E. (Hrsg.): Montageplanung – effizient und marktgerecht. Berlin 2001.

[Wed-81]

Wedekind, H.; Müller, T.: Stücklisten bei großer Variantenzahl. In: Angewandte Informatik 23 1981 (9), S. 377-383.

[Wei-02]

Weißner, R.; Klanke, A.; Schreiber, W.: Zukunftsorientierte Fabrikstrukturen in der Automobilindustrie. In: wt Werkstatttechnik, Jg. 2002.

[Wic-95]

Wicke, J.-M.: Controlling von Forschungs- und Innovationsprojekten. Dissertation. Bamberg 1994.

[Wir-01]

Wirtz, J.: Ein Referenzmodell zur integrationsgerechten Konzeption von Produktdatenmanagement. Dissertation. München 2001.

[Wöh-86]

Wöhe, G.: Einführung in die allgemeine Betriebswirtschaftslehre. 16. Überarbeitete Auflage. München 1986.

[Wöh-90]

Wöhe, G.: Einführung in die allgemeine Betriebswirtschaftslehre. München 1990.

[Wol-01]

Wolf, S.: Wissenschaftstheoretische und fachmethodische Grundlagen der Konstruktion von generischen Referenzmodellen betrieblicher Systeme. Aachen 2001.

[WW-00]

Wiendahl, H.-P.; Worbs, J.: Mobilität von morgen. Die Fabrik am Haken? In: ZWF – Zeitschrift für den wirtschaftlichen Fabrikbetrieb 95 (2000) 12, S. 584-587.

[Wil-01]

Wille, S.: GoTo Java Server Pages, München 2001.

[Wit-59]

Wittmann, W.: Unternehmung und unvollkommene Information. Köln, Opladen 1959.

[Wüs-63]

Wüstneck, K. D.: Einige Gesetzmäßigkeiten und Kategorien der wissenschaftlichen Modellmethode. In: Deutsche Zeitschrift für Philosophie, 14(12), S. 1452-1467.

[Wys-04]

Wyssusek, B. G.: Methodologische Aspekte der Organisationsmodellierung in der Wirtschaftsinformatik – Ein soziopragmatisch-konstruktivistischer Ansatz (Diss.). Berlin 2004.