

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].

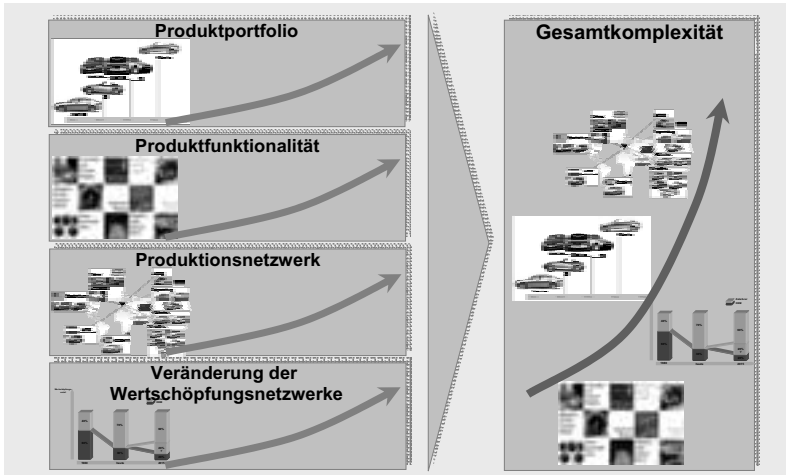


Abbildung 1: Steigende Gesamtkomplexität für die Planung von Produktionsprozessen

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).

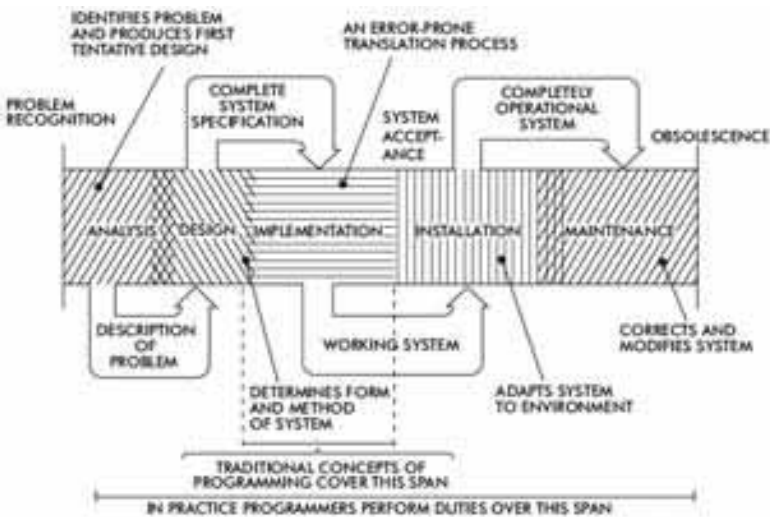


Abbildung 2: Schema eines Softwareentwicklungsprozesses [NaRa-69]

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.